# ISTITUZIONI

## DI ARCHITETTURA STATICA E IDRAULICA

DI


## NICOLA CAVALIERI SAN-BERTOLO

INGEGNERE SUPERIORE NEL CORPO DI ACQUE E STRADE, E PROFESSORE NELL' ARCHIGINNASIO ROMANO DELLA SAPIENZA.


## VOLUME II.

BOLOGNA

DALLA TIPOGRAFIA CARDINALI E FRULLI

M DCCC XX VII

*Tout ce que l'on peut exiger d'un ouvrage comme le nôtre, est d'y trouver des instructions pour les cas les plus généraux, c'est-à-dire des termes d'où l'on puisse partir pour se conduire avec assurance.*
Belidor. Architecture hydraulique. Liv. III. chap. XI.

# ARCHITETTURA STATICA E IDRAULICA

## LIBRO TERZO

### DEI LAVORI MURALI

### SEZIONE PRIMA

#### DEI MURI IN GENERALE

#### CAPO I.

*Nozioni preliminari.*

§. 492. Dicesi muro o muraglia qualunque ammasso artefatto di pietre, ordinate in modo, che ne risulti un solido di figura e dimensioni determinate, atto a conservare stabilmente la propria forma sia per la forza di qualche materia glutinosa, cui si dà il nome di *malta* o *cemento*, la quale avviluppi le pietre, e le tenga saldamente aderenti l'una all'altra; sia in grazia dell'equilibrio, in cui si trovi ciascuna pietra per la semplice sua posizione; sia finalmente perchè le pietre si trovino tutte studiosamente disposte in guisa tale, che quelle forze, per cui tenderebbe ciascuna di esse a spostarsi, s'impediscano e si elidano nel vicendevole conflitto. I materiali di cui si compongono i muri sono dunque generalmente le pietre, e le malte. Le prime sono naturali o artefatte; le seconde sono semplici ovvero composte. Se il muro è formato di sole pietre senza l'interposizione di verun cemento, dicesi muro *a secco*; se le pietre sono conglutinate da qualche cemento, il muro dicesi *in malta*.

§. 493. I muri, ove si consideri la geometrica loro costituzione, si distinguono in muri *comuni*, e muri *a volta*: i primi sono o *dritti*, ovvero a *scarpa*: le volte si suddistinguono in molte specie, a seconda delle varie condizioni geometriche, dalle quali dipendono le loro figure e le loro posizioni.

Se poi si voglia avere riguardo alla materiale composizione,

primieramente si fa luogo a distinguere tre generi di muri, cioè 1°. muri di pietra naturale, i quali diconsi anche semplicemente muri *di pietra*; 2°. muri di pietre artefatte, che comunemente si denominano muri *laterizi*, ovvero muri *di cotto*; 3°. muri *misti*, nella composizione de' quali si adoperano promiscuamente le pietre naturali, e l'artefatte. Ognuno di questi generi comprende diverse specie, distinte secondo le varietà dell'apparecchio, e della disposizione delle pietre nella costruzione de' muri.

Si distinguono finalmente i muri dipendentemente dai vari uffizi, a cui sono destinati nei diversi rami, e nelle diverse occorrenze dell'arte di fabbricare. A questo riguardo si applica convenientemente ai muri una classificazione analoga a quella, che fù già ammessa per distinguere, secondo i caratteri de' rispettivi uffizi, i vari membri d'un sistema qualunque di legname (§. 227), e che generalmente si adatta a qualsiasi genere di costruzione. Quindi in ogni sorta d'edifizi classificheremo i muri, come segue.

1. Muri, o masse di *resistenza*, alcune delle quali sono *principali*, altre *ausiliarie*; e sono destinate a resistere alla spinta o alla pressione d'altre masse adiacenti o sovrapposte.

2. Masse di *concatenazione*, le quali legano insieme le masse resistenti e le mettono in caso di prestarsi mutuo soccorso.

3. Masse *completive*, che servono semplicemente alla forma, o alla distribuzione dell'edifizio.

Molte volte accade che una stessa massa adempie a diversi uffizi, ed appartiene per conseguenza nel tempo stesso ad una e ad un'altra delle stabilite classi. Così per esempio i muri divisori in qualunque fabbrica vanno compresi nella terza classe, poichè servono all'interna distribuzione dell'area e degli ambienti; ma appartengono altresì alla classe seconda, mentre rendendo concatenati i muri principali, chiamati anche muri *maestri*, fanno sì che questi vicendevolmente si danno aiuto per restar fermi nelle loro posizioni.

§. 494. Le condizioni della stabilità de' muri in generale altre sono architettoniche, altre statiche. Le prime concernono la materiale costruzione, e quindi tutto ciò che appartiene alla scelta, all'apparecchio, ed all'impiego de' materiali, vale a dire delle pietre e delle malte. Le seconde hanno per iscopo la giusta determinazione delle forme e delle dimensioni de' muri, a seconda dei vari uffici di resistenza, che sono ad essi assegnati; affinchè le masse non abbiano ad essere nè dislocate, nè infrante dalle spinte, che contro di esse agiscono. Parleremo in primo luogo della costruzione de' muri in generale; e per procedere con ordine esamineremo da principio partitamente le diverse qualità, e le preparazioni de' materiali, e quindi le maniere più proprie d'adoperarli per

la fabbricazione de' muri. Susseguentemente ci faremo a considerare i vari uffici, a cui sogliono essere destinati i muri, e dedurremo corrispondentemente le condizioni statiche, per le quali la stabilità delle masse possa trovarsi pienamente assicurata.

## CAPO II.

### *Delle pietre naturali.*

§. 495. Sono pietre naturali tutte quelle sostanze minerali, che trovansi intorno alla terra in istato di vera solidità, in grandi masse informi, ovvero in ampi strati di maggiore o di minore altezza, e che sono composte di terre semplici combinate l'une con l'altre, ovvero cogli alcali, contenendo talvolta come principii accessori degli acidi, dei combustibili, e dei metalli. I geologi classificano le pietre a norma d'alcuni caratteri, corrispondenti all'ipotesi invalse intorno all'epoche, o alle cause dell'originaria produzione, ovvero della deposizione delle masse lapidee nelle sedi naturali, che occupano. Distinguono quindi le pietre in cinque classi, cioè 1°. pietre *primitive*; 2.° pietre *di transizione* o *intermedie*; 3°. pietre *stratiformi*, o *secondarie*; 4°. pietre *d'alluvione*, o *di trasporto*, ovvero *terziarie*; 5.° Finalmente pietre *vulcaniche*. Appartengono alla prima classe il granito, il porfido, il serpentino, la calcarea primitiva, ec: alla seconda la calcarea di transizione, ec: alla terza le pietre arenarie, la calcarea stratiforme, l'ardesia secondaria, il gesso, le brecce ec: alla quarta alcune arenarie grossolane, le pudinghe, i tufi calcarei, ec: per ultimo spettano alla quinta classe i basalti, le lave, i tufi vulcanici, e le pomici.

I litologi desumono la classificazione delle pietre da altri riguardi. Alcuni le classificano sul fondamento delle qualità caratteristiche apparenti o fisiche: taluni altri a seconda della forma naturale, sotto cui sono aggregate le molecole integranti; che è il sistema di Haüy: altri finalmente le dividono in classi dipendentemente dalle diversità della chimica loro composizione, ed è questo il metodo del Cronsted. Siccome è da presumersi che quegli attributi delle pietre, che sono importanti per la costruzione, dipendono essenzialmente dalla chimica costituzione di esse, così la classificazione del Cronsted giustamente si considera come la più corrispondente ai fini dell'arte architettonica, ed è stata adottata a preferenza d'ogn'altra dagl'ingegneri francesi (1).

---

(1) Sganzin. — *Programmes au résumé des leçons d'un cours de construction*. Lez. I.

§. 496. In conformità, dell' enunciato sistema convien distinguere primieramente le pietre naturali da costruzione in semplici e composte. Semplici sono quelle che hanno l' aspetto d' una massa omogenea; composte quelle nelle quali l' occhio ravvisa l' aggregazione di diverse masse eterogenee. Ciascuna di queste classi è divisa in generi; ciascun genere in ispecie. Nella classe delle pietre semplici si distinguono 1.° il genere siliceo, 2.° il genere argilloso, 3.° il genere magnesiaco, 4.° il genere calcare. Una pietra viene inclusa nell' uno o nell' altro dei commemorati generi, secondo che i suoi caratteri chimici dimostrano il predominio d' una o d' un' altra delle terre elementari, da cui sono desunti i nomi generici, sulle altre parti costituenti. Appartengono al genere siliceo lo schisto siliceo, di cui una varietà è la così detta pietra di paragone, ed il lapis-lazzoli. Entrano nel genere argilloso gli argilli-schisti, come l'ardesia del Genovesato conosciuta sotto il nome di lavagna, le pietre ollari, ed i basalti. Spettano al genere magnesiaco i serpentini. Per ultimo al genere calcare appartengono varie specie di calce carbonatica, capaci o incapaci di polimento, nelle quali è inclusa la numerosa serie de' marmi: e in cui si comprendono pure i travertini, i tufi e i tartari: qualche specie di calce fluatica: ed alcune specie di calce zolfatica, le quali abbracciano i gessi, e gli alabastri.

I generi contenuti nella classe delle pietre composte sono 1.° i graniti, 2°. i gneissi, 3°. gli schisti micacei, 4°. i porfidi, 5°. le sieniti, 6°. i trapi, 7.° l'arenarie, 8°. le brecce: ed a questi si possono aggiugnere due generi di pietre vulcaniche, cioè 9°. le lave, 10°. i tufi.

§. 497. Comunemente nell' arte delle costruzioni si adotta un' altra maniera di classificare le pietre, la quale è più conforme alla materialità delle menti degli artefici più idioti. Tutte le pietre sono distinte in tre classi cioè 1°. marmi, 2°. pietre dure, 3°. pietre tenere. Nella classe dei marmi si comprendono tutte quelle pietre, che sono capaci d'un bel polimento; onde non solo le pietre della specie calce carbonatica, che sono i veri marmi della mineralogia, ma ben anche gli alabastri, i graniti, i porfidi, i basalti, i serpentini ec. Diconsi pietre dure quelle, che non sono atte ad essere ridotte a polimento, e che, sebbene generalmente dotate di minor durezza de' marmi, tuttavia non possono essere segate, che per mezzo della lama o sega liscia de' tagliapietre, con l'impiego di sabbia quarzosa diluita dall' acqua. Tali sono il travertino, ed il peperino, pietre usitatissime in Roma; la pietra d' Istria, di cui si fa gran consumo nelle costruzioni a Venezia, ed in tutta la costiera dell' Adriatico; ed altre di vario genere. Finalmente diconsi pietre tenere quelle che possono essere segate, come i legni, per mezzo di seghe dentate; quali sono alcune pietre di Conflans, e di Saint-Leu usitate a Parigi, la pietra di Costosa a Vicenza, e la pietra così detta mattone di Malta, di cui

si fa qualche uso, specialmente per la costruzione di pavimenti da camera, in alcune città italiane sulla spiaggia del Mediterraneo.

Si fa anche in pratica un'altra distinzione delle pietre da costruzione. Chiamansi pietre *da taglio* quelle che possono estrarsi dalle cave in grandi masse, atte ad essere ridotte col taglio a determinate forme regolari pei vari fini dell'architettura: l'altre possono chiamarsi pietre comuni da muro.

§. 498. I marmi si distinguono in antichi e moderni. Antichi sono quelli dei quali sono ignote o esaurite le cave: moderni gli altri. Gli architetti sogliono dividere i marmi in vari generi cioè 1°. i basalti, 2°. i porfidi, 3°. i serpentini, 4.° i graniti, 5°. i marmi propriamente detti, 6°. gli alabastri. Ciascheduno di questi generi è suddiviso in ispecie. I marmi propriamente detti offrono pressochè infinite varietà, che si comprendono nelle seguenti specie 1°. Marmo bianco statuario. 2°. Marmi unicolorati. 3°. Marmi varicolorati, 4°. Brecce, 5°. Lumachelle. 6°. Paesine. La cognizione de'marmi in niun luogo può meglio acquistarsi che in Roma, ove il potere, e la magnificenza degli antichi dominatori del mondo seppe copiosamente raccogliere quanto di più prezioso in questo genere la natura aveva prodotto in tutte le parti allora conosciute dell'orbe terracqueo. Utilissima scorta ai giovani architetti per l'acquisto di tali cognizioni può essere l'erudito catalogo dato in luce non ha guari dall'avvocato Corsi, posseditore d'una pregievolissima serie d'esemplari di belle pietre antiche e moderne (1). Per noi sarebbe troppo prolissa l'enumerazione di tutti i marmi conosciuti, ed inconcludente il nominarne alcuni soltanto. Bastino dunque le preindicate distinzioni fondamentali, e l'avere additato come gli studiosi possano su questa materia estesamente erudirsi.

§. 499. La benefica natura ha sparso per tutto il globo innumerabili varietà di pietre adattate pei bisogni dell'architettura, oltre i marmi, che sono più rari, e più particolarmente destinati alla decorazione interna ed esterna degli edifizi. Sarebbe impossibile, e forse superfluo, di tessere un catalogo di tutte le pietre, di cui si fa, o si può far uso per le costruzioni, qua e là in tutte le parti della terra. Ciò che essenzialmente importa si è di ben conoscere quali sieno le proprietà per le quali le pietre si rendono più o meno atte ad essere adoperate nelle costruzioni murali, quali i caratteri che danno indizio delle stesse proprietà, quali i mezzi per esplorare in qual grado sieno esse possedute

(1) *Catalogo ragionato d'una collezione di pietre di decorazione ec.* Roma 1825.

dalle varie spezie di pietre, finalmente quali operazioni e quali avvertenze sieno necessarie per l'apparecchio delle pietre prima che sieno messe in opera. Sono questi pertanto gli obbietti intorno ai quali verseranno in generale le nostre considerazioni; e non lasceremo intanto all'opportunità di far menzione d'alcune pietre di cui si fa particolarmente uso in alcuni paesi dell'Italia, e delle quali si è avuto occasione di conoscere le qualità, con dati certi e positivi.

§. 500. Le qualità che importa di considerare nelle pietre da costruzione sono 1.° le grandezze o sia il volume, 2.° la gravità specifica, 3.° la resistenza, 4.° la durevolezza, 5.° la lavorabilità, 6.° la durezza, 7.° l'affinità con le malte. Il colore, la trasparenza, l'attitudine al polimento sono doti che caratterizzano le pietre più nobili, o sia i marmi, e che non importano per conto alcuno alla solidità, ma soltanto alla decorazione degli edifizi.

§. 501. La natura formò le pietre in grembo alla terra in masse irregolari più o meno vaste, ovvero in banchi o strati assai ampi, e più o meno alti (§. 495). Ordinariamente le masse naturali sono così sterminate, da poter somministrare pezzi di qualunque grandezza, se l'arti umane valessero a distaccarli interi dalla sede nativa, e a trasportarli lungi da quella. In tal forma esistono in natura i graniti, i porfidi, e la maggior parte dei marmi. Ove dunque si tratti di queste sorte di pietre, la grandezza dei pezzi che se ne possono ottenere vien limitata soltanto dalle difficoltà, che derivano dalle condizioni del terreno intorno alle masse lapidee nell'originaria loro sede, e dalla possibilità corrispondente ai mezzi dell'arte, applicabili alla separazione, e al movimento dei massi. Ma quando si tratta di pietre stratiformi, la grandezza dei massi ottenibili è essenzialmente subordinata all'altezza dei banchi naturali della pietra; e quindi è necessario di conoscere quanta soglia essere tale altezza, per poterne arguire il limite della grandezza dei massi, che possono trarsi da tali o da tali altre cave o petraie.

I comuni bisogni, e le consuetudini ordinarie dell'arte di fabbricare non esigono pietre di molta mole, escludendo anzi affatto da questa considerazione le pietre destinate alle comuni costruzioni murali (§. 497), le quali si adoperano ridotte in piccoli pezzi, di volume non di rado minore d'un decimetro cubo, onde la maggior grandezza è in esse un requisito affatto inutile. L'uso della pietra da taglio si limita ordinariamente nelle costruzioni civili alla formazione di scaglioni di scale, di soglie alle porte o alle finestre, di focolari da cammino, di sedili, e d'altri consimili articoli. Nelle costruzioni d'acque e strade, oltre l'uso che si fa della pietra nella costruzione delle selciate (§. 119 e seg.), gli usi più frequenti della pietra da taglio consistono nelle lastre che servono di copertura o di cappello sui muri di parapetto, ne'cigli dei

marciapiedi, nelle soglie o platee delle chiuse (§. 362), stipiti scanalati di chiaviche (§. 358), chiusini sulle fogne, e sugli acquedotti, termini migliari (§. 137), scansaruote, ec. In generale per tutti questi usi non si richiede nelle pietre molta grossezza, e quindi possono valere anche le pietre stratiformi, per poco che sieno alti i banchi naturali alle petraie, d' onde esse si traggono. Ma per le grandi costruzioni in pietra da taglio si esigono grossi massi, che non tutte le cave sono in grado di somministrare: e quindi prima di proporre o di ordinare opere di questo genere, è duopo di aver considerato se sieno, o possano aprirsi vicine cave di pietre adattate, ovvero se si abbiano mezzi valevoli per far venire le pietre da più o meno lontani paesi. E siccome generalmente non è il bisogno, ma la magnificenza, o l' ambiziosa brama di vivere famosi nella memoria de' posteri, che spinge i popoli, e i potenti a coteste singolari imprese, così in simili casi le difficoltà e la spesa non sogliono atterrire, purchè non manchino i modi di superarle, e di comportarle. Le grandi nazioni dell' antichità si segnalarono non solo per superbi monumenti in pietra da taglio, gli avanzi de' quali destano tuttora la nostra ammirazione, ma ben anche per avervi impiegato smisurati massi, condotti talvolta a traverso i mari da lontanissime contrade. Veggonsi nelle ruine di Persepoli dei massi enormi, alcuni dei quali hanno perfino m.c. 64 di volume; ed al gran tempio di Balbek ne esistono di grandezza anche più prodigiosa. Raccontasi che alla cava prossima al tempio stesso, dalla quale furono tratte le pietre per la costruzione di quel decantato monumento, giace preparato un masso dello sterminato volume di m.c. 342, che è da credersi fosse destinato per qualche altro grandioso edifizio da costruirsi in quei dintorni. Nell' Egitto, cui la natura fu prodiga d' immense masse di bellissimo granito, ne furono staccati massi portentosi, che si convertirono in magnifiche colonne, in sorprendenti obelischi, ed in maravigliosi monumenti d' altro genere. Non abbiamo duopo di ciò che ne attestano i racconti degli antichi storici, e de' moderni viaggiatori, poichè abbiamo sotto gli occhi in Roma molte e molte di quelle colonne e di quegli obelischi, che la prepotenza romana trasportò dalle sponde del Nilo a quelle del Tevere. Sono in questo numero le 16 famose colonne del portico del Panteon, alte m. 12,50, e del diametro di m. 1,45, ognuna delle quali dev' essere stata ricavata da un masso del volume di m. c. 34 almeno. Di esse alcune sono di granito bigio altre di granito rosso. Il più grande fra gli obelischi egizi di granito che si ammirano in Roma si è quello presentemente eretto nella piazza di S. Giovanni in Laterano, la di cui altezza è di m. 33, e la di cui base ha di lato m. 1,60. Il masso grezzo doveva quindi avere un volume di circa m. c. 85,

Troviamo anche fra i monumenti del medio evo un singolarissimo esempio di così fatte ardimentose imprese nella cupola monolite del supposto mausoleo di Teodorico, ordinato da lui medesimo, o dalla sua figlia Amalasunta, verso la fine del quinto, o sul cominciare del sesto secolo: edifizio che si conserva, consecrato oggi al divin culto, qualunque si fosse l'originario suo scopo, a poca distanza da Ravenna, sotto il titolo di S. Maria della Rotonda (1). Il masso intagliato, che forma cotesta cupola, verosimilmente riputato di pietra d'Istria, ha esternamente in base la forma di ottagono, col diametro di m. 11, ed ha l'altezza di m. 3,20: onde alla cava prima d'essere lavorato doveva necessariamente avere l'enorme volume di circa m.c.387. Ed è invero giusto argomento di meraviglia, che così smisurata mole siasi trasportata a traverso il golfo Adriatico, dalle coste dell'Istria fino a Ravenna; quindi per terra fino al sito del monumento; ed ivi sollevata all'altezza di 13 metri dal suolo. Negli stessi secoli della decadenza delle arti, allorchè sotto l'influenza della barbarie scomparvero tanti stupendi edifizi della fiorente età, ch'era precorsa, molte di quelle grandi e ricche colonne, che avevano fatto in essi maestosa figura, si videro, per la pietà de'primi imperatori cristiani, ricomparire nell'auguste basiliche di Roma, la maggior parte delle quali sussistono, e si ammirano tuttora a nostri giorni. I tempi meno remoti si gloriano essi pure d'alcuni, sebben rari, esempi di grandi colonne monoliti, fra le quali son da citarsi quelle, che veggonsi nella cattedrale, e nel tempio di s. Fedele a Milano, le quali sono di quella specie di granito moderno, che in Lombardia dicesi volgarmente *migliarolo*, ed hanno l'altezza di circa m. 9,75: e possono pure gloriarsi d'aver fatto risorgere molti degli antichi obelischi egizi, i quali nel 1585, sotto il pontificato di Sisto V, giacevano tutti rovesciati al suolo, eccettuato quello del Vaticano, che rimaneva tuttora in piedi nell'antica sua posizione dietro l'attuale sacristia di S. Pietro; e che per la magnificenza di quell'esimio pontefice e dei suoi successori furono quindi trasportati ed eretti nelle piazze principali di Roma. Ma alla moderna età appartiene il vanto d'una delle più strepitose prove dell'arte nell'impiego di smisurati massi di pietra; poichè il famoso piedestallo, sul quale fu posta nel declinare dello scorso secolo a Pietroburgo la statua equestre di Pietro il grande, è un monumento monolite, che per vastità di mole non la cede a niun altro, se non che a quello antichissimo di Buto, il quale, secondo ciò che ne

(1) D'Agincourt. *Storia dell' arte dimostrata coi monumenti* - Prato 1826. Vol. II. pag. 107.

racconta Erodoto (1), fu un tempio incavato entro un masso di pietra, che esternamente aveva la figura di un cubo col lato di 40 cubiti, che equivalgono a m. 16; e quindi grezzo dovette avere lo sterminato volume di m. c. 4056. Lo scoglio di Pietroburgo, come fu ritrovato in una palude presso la baia del golfo di Finlandia, era della forma di parallelepipedo, ed aveva m. 13,64 di lunghezza, m. 8,77 di larghezza, e m. 6,82 d' altezza; e quindi era il suo volume di m. c. 816, un quinto circa di quello della predetta pietra, di cui fu formato il tempio di Buto. Imprese di cotal fatta fanno conoscere a quanto giungano l' umano ardimento, ed il potere dell' arte meccanica; e furono forse il seme da cui nacque la nota favola de' monti svelti, ed accatastati uno sull' altro nella Tessaglia dalla possa de' Titani, i quali con questo orgoglioso attentato provocarono l' ira di Giove, e caddero atterrati dal suo braccio fulminante.

§. 502. Importa di conoscere le gravità specifiche delle pietre adoperate nelle costruzioni, per poterne dedurre le pressioni o le spinte, che le varie masse esercitano l' une sull' altre negli edifizi, e per poter calcolare le giuste relazioni fra le potenze e le resistenze nelle manovre architettoniche, tendenti al trasporto o all' innalzamento de' massi di pietra. La gravità specifica varia nelle pietre entro limiti assai lontani. Il peso specifico del basalte di Svezia ascende a 3065, mentre quello d' alcune specie di pietra pomice non è maggiore di 556. Si troveranno registrate in una tabella alla fine del presente capitolo le gravità specifiche di varie specie di pietre, la maggior parte delle quali sono originarie dell' Italia, alcune appartengono ad altri paesi dell' Europa, e talune sono della classe de' marmi antichi (§. 498). Assumendo il peso specifico del granito rosso d' Egitto uguale a 2760, che è il massimo dei risultati dell' esperienza riferiti nella tabella, lo scoglio di cui fu formato il tempio monolite di Buto (§. 501) doveva pesare chilog. 11304960. E così essendo 1618 la gravità specifica della pietra d' Istria, il peso del masso, da cui fu ricavata la cupola del monumento di Teodorico presso Ravenna, dovette essere di chilog. 1013166. Il gran masso di Pietroburgo, quand' anche la gravità specifica del granito di cui è formato non si volesse valutare più di 2600, risulterebbe tuttavia del peso di chilog. 2121600.

§. 503. È caso rarissimo che nelle costruzioni venga posta a cimento la resistenza assoluta delle pietre, in modo da poter dubitare della sua efficacia. Quindi poco o nulla si sono curati i costruttori di conoscerne

(1) *Historiarum*. Lib. II.

l' intensità nelle varie specie di pietre, e non si offrono a questo proposito che i risultati d' alcuni pochissimi sperimenti, che tuttavia non lasceremo di citare. Per le sperienze del Rumford, riferisce il Venturoli (1) che la resistenza assoluta di varie specie di macigni si manifestò di chilog. 13,36 per ogni centimetro quadrato della sezione. In una pietra bianca compatta ed omogenea la tenacità fu riconosciuta da Coulomb (2) del valore di chilog. 14,4 per centimetro quadrato. Ed il Tredgold ultimamente riconobbe per via d' esperimenti, che la pietra calcare di Portland nell' Inghilterra ha una resistenza assoluta di chilog. 60,2 per centimetro quadrato (3).

§. 504. Intorno alla resistenza rispettiva delle pietre, che pure è rarissimo che venga cimentata nelle costruzioni, a segno tale che meriti considerazione, non ci si offrono altre sperienze, che quelle fatte dal Gauthey sulla pietra calcare dura, e sulla pietra calcare tenera di Givry nella Francia (4). Secondo i risultati di tali sperienze il coefficiente $k$ per la resistenza rispettiva della pietra calcare dura è $= 108027$; e per quella della pietra calcare tenera si ha $k = 24005$: e quindi si scorge quanto per questa specie di resistenza la pietra sia al di sotto del legname, poichè fralle varie specie di legni sottoposte agli sperimenti non havvene alcuna, per cui il valore di $k$ non sia più che decuplo di quello, che si è trovato dal Gauthey per la pietra dura di Givry (5).

§. 505. È bensì di continuo tenuta in esercizio la resistenza assoluta negativa delle pietre adoperate in ogni sorta di costruzioni. E siccome le pietre, in generale non sono dotate d'alcun grado di flessibilità, così cotesta specie di resistenza non vuol' essere considerata in riguardo alle pietre, se non che per quanto vale essa ad impedire, che il solido venga infranto da una gagliarda forza comprimente. Sotto questo aspetto la resistenza assoluta negativa dei solidi si suppone generalmente proporzionale all'area della sezione direttamente premuta (§. 169). Molte sperienze sono state fatte per determinare il valore effettivo di questa specie di resistenza nelle pietre più conosciute, e più usitate nella Francia, nell' Inghilterra, e nell'Italia. I risultati di cotali sperienze, ottenuti sopra varie specie di pietre dell'Italia, e sopra alcune altre specie estere, o antiche, verranno inseriti nella già promessa tabella; ove sarà riferita la resistenza allo schiacciamento di ciascheduna specie, per ciascun centimetro quadrato dell' area della sezione premuta. Si troverà per esempio che la resistenza

---

(1) *Elementi di meccanica e d' idraulica* - Vol. I. lib. III cap. XVI.
(2) *Mémoires des savantes étrangers*. 1773.
(3) *A practical essay on the strength of cast iron* pag. 150.
(4) *Journal de physique* - 1774.
(5) V. il prospetto delle proprietà del legname nel vol. I a pag. 113

allo schiacciamento del granito rosa d'Egitto è di 880 chilogrammi per centimetro quadrato (1): onde si dedurrebbe che ciascuna delle colonne del portico d'Agrippa, il di cui diametro è, come vedemmo, di m. 1,45 (§. 500), avendo in base l'area di m. q. 1,6519 sarebbe capace di sopportare senza pericolo di frattura una pressione di chilog. 14536720. Ed essendo, come già si disse (§. 502), 2760 il massimo peso specifico del granito rosso, se si volesse sapere quale sarebbe la massima altezza $x$, sotto cui un prisma qualunque retto e verticale di cotal pietra potrebbe reggere il proprio peso, facendo $0,2760\,x = 880$, si troverebbe immediatamente $x = 3188$ metri. Per altro i valori della resistenza alla compressione, che si trovano registrati nella tabella, sono bensì efficaci per un'azione istantanea, ma non reggerebbero ad un'azione continuata; e perciò nelle costruzioni si dà per massima che debbano ridursi alla metà; vale a dire che non debba farsi sopportare alle pietre una pressione continuata maggiore della metà di quella, cui sarebbero capaci di resistere per qualche istante.

L'esperienze, e particolarmente quelle fatte dal Rondelet per esplorare la resistenza delle pietre allo schiacciamento, hanno dato campo di scoprire alcune particolarità, la cognizione delle quali potrebbe talvolta esser vantaggiosa in pratica.

1. Fra le pietre della stessa classe sono ordinariamente più resistenti quelle, che hanno la pasta più compatta, e più omogenea la grana più fina, il colore più cupo.

2. Parimente fra le pietre d'una medesima classe le resistenze sono ordinariamente proporzionali alle gravità specifiche.

3. L'ipotesi, che la resistenza allo schiacciamento sia proporzionale all'area della base premuta, si verifica generalmente nei solidi simili. Ma per altro a tenore dell'esperienze non può negarsi qualche influenza anche al rapporto fra l'altezza e la base; e si è osservato che la figura più favorevole è quella del cubo, e che la resistenza diminuisce sensibilmente se la figura diviene o più alta, o più piatta.

4. I solidi d'un solo masso in altezza sono più resistenti di quelli composti di più rocchi sovrapposti gli uni agli altri.

5. I risultati riferiti nella tabella valgono soltanto per que' solidi che hanno le basi quadrate, poichè quando le basi sono circolari o rettangolari le resistenze effettive aberrano dalla legge di essere proporzionali alle basi premute, e, per quanto ha dimostrato l'esperienza, sono alquanto maggiori se la base è circolare, alquanto minori se la base è rettangolare. E si è potuto dedurre, che le resistenze di tre solidi di uguali altezze, e di basi uguali in area, il primo cilindrico, il secondo

(1) Si assume questo valore poichè le resistenze del granito bigio e del granito rosso d'Egitto non sono state determinate con opposite sperienze.

parallelepipedo a base quadrata, il terzo pure parallelepipedo a base rettangolare, sono come i numeri 917, 806, 703.

§. 506. La durevolezza delle pietre da costruzione consiste nelle facoltà di mantenersi esenti dall'ingiurie dell'umido, del gelo, del fuoco, e della salsedine. Non tutte le pietre sono ugualmente dotate di quest' importante facoltà ed alcune sono atte a resistere piuttosto ad una che all'altre delle fisiche cause prenominate. Poche sono le pietre capaci di resistere all'azione del fuoco; e i più duri marmi debbono cedere al suo potere, come ne abbiamo avuto recentemente un tristo esempio nell'incendio della basilica di s. Paolo, ove tante superbe colonne di marmo frigio, chiamato dai moderni *pavonazzetto*, furono nel giro di poche ore calcinate e distrutte. Lo stesso granito non va immune dai pregiudizi del fuoco; e sono manifesti i segni dell' alterazione prodotta dalle fiamme nelle colonne granitiche degli avanzi del tempio della Concordia, tuttora esistenti nel foro romano. Fra le pietre che sono atte a sopportare senza detrimento l'azione, benchè continuata, d'un fuoco ordinario, nomineremo quella lava, di cui si fa uso in Roma per le soglie de' cammini, e che dicesi *manziana*, perchè si trae dai dintorni d'un paese di cotal nome nella provincia di Civitavecchia. Ma in un grado assai più eminente ha la facoltà di resistere al fuoco la così detta *pietra-santa*, che cavasi nella Toscana, e si adopera anche nello stato romano per rivestirne internamente i forni fusori delle ferriere (§. 430), ove sostiene senza alterarsi per più e più mesi quel fuoco vivissimo, che è necessario per la fusione del metallo.

L'attitudine delle pietre a resistere all'umido, al gelo, e alla salsedine non può essere riconosciuta che per via d'esperienze. Per quelle pietre che sono già in uso basta di osservare attentamente quale riuscita abbiano fatto negli edifizi, in cui sono state adoperate, in diversi climi, e in diverse esposizioni. Ma quando si tratta di pietre provenienti da nuove cave è indispensabile di provarle, lasciandole esposte pel corso di due anni almeno, come praticavano gli antichi, all'aria, ed all'intemperie; o tenendole anche immerse nell'acqua del mare, qualora importi di conoscere se la pietra valga a resistere all' aria salsa nei paesi marittimi. Il nostro travertino delle cave di Tivoli e di Civitavecchia non soffre la più piccola alterazione in qualunque esposizione del nostro clima; nè viene per conto alcuno danneggiato dall'aria di mare. Resistono pure a tutte l'intemperie la lava basaltina, volgarmente chiamata *selcio* (§. 121); l'altra specie di lave che copiosamente si trovano per ben lungo tratto intorno a Roma, e sono comunemente conosciute sotto i nomi di *macigno*, di *nenfro*, di *piperno*, di *sperone*, ec. i tufi vulcanici, di cui è ricco lo stesso territorio, e singolarmente il tufo dei colli Albani denominato

*peperino*; i travertini che si traggono da molte altre cave, oltre quelle già nominate, a Monte-rotondo, a Viterbo, a Civita-castellana ec. L'altre parti dell'Italia posseggono esse pure qnal più qual meno pietre proprie, capaci di andar immuni da ogni alterazione, comunque esposte all'intemperie atmosferiche. La pietra d'Istria, di cni come già fu detto (§. 497) si è fatto e si fa grand'uso a Venezia ed in tutti i paesi italiani, che sono lungo l'Adriatico, si mantiene illesa da ogni pregiudizio all'aria, e solo quella varietà, che si distingue pel colore rossigno, è soggetta ad esser corrosa dall'acqua del mare, ed alterata anche dai principii salsi che regnano nell'atmosfere dei paesi marittimi.

Le pietre secondo la naturale loro disposizione, esplorata come già si è detto per mezzo d'osservazioni e di sperimenti, si adoperano all'aria aperta in opportune esposizioni; e quelle che si sono riconosciute inabili a sopportare l'umido, e il gelo, possono non di rado servire ad usi interni di scale, di pavimenti, ovvero di oggetti di decorazione, quando sieno snscettibili d'intaglio e di polimento.

§. 507. La lavorabilità è una prerogativa essenziale delle pietre da taglio, e de' marmi, per cui si rendono capaci di prendere le forme stabilite, ed il polimento. Nè deve questa proprietà desumersi dalla maggiore o minor difficoltà dell'operazioni necessarie per la riduzione delle pietre, poichè questa dipende dalla durezza; e l'arte ha in pronto i mezzi opportuni per vincere queste difficoltà a seconda del grado in cui si presentano; ma bensì dalla possibilità d'eseguire con buon successo le stesse operazioni, la quale è tolta talora da vizi naturali delle pietre, come sarebbero la fragilità, la crudezza, la mancanza d'omogeneità, le screpolature ec.

§. 508. Cade ora in acconcio di dare qualche notizia delle operazioni, a cui si riduce tutto il lavorio delle pietre. Sono dunque coteste operazioni 1°. la segatura, 2.° il taglio; ed a queste due, in cui propriamente consiste il lavoro delle pietre da taglio, deve aggiugnersi particolarmente pe' marmi, quando si destinano alla decorazione, 3.° il polimento.

Per mezzo della segatura i massi o rocchi grezzi, provenienti dalle cave, si dividono in lastre di maggiore o di minor grossezza, secondo gli usi a cui si destinano. Quest'operazione sulle pietre tenere (§. 497) si eseguisce con seghe dentate; sulle pietre dure con lame liscie, l'azione delle quali diviene efficace a recidere la pietra soltanto per l'attrito prodotto dall'arena silicea diluita con l'acqua, che si va infondendo di tanto in tanto nella traccia della sega. Ove non si hanno sabbie adattate si adopera la pietra arenaria polverizata. Per segare i marmi più duri si fa uso dello smeriglio, non tanto per agevolare l'operazione,

quanto per render minore la quantità di pietra, che si consuma nella grossezza dall' incisione. Le seghe ordinariariamente nell' officine de'scalpellini sono mosse a braccia. Ove le circostanze acconsentano di farle muovere dall' acqua mediante opportuni macchinismi, la segatura delle pietre riesce assai meno dispendiosa. Le lame sogliono essere ordinariamente della lunghezza di circa m. 2,60: un abile segatore produce in ogni minuto, per un dato medio, cinquanta alternazioni di sega, facendo percorrere alla lama in avanti e in addietro da 40 a 54 centimetri. Quindi i massi che si sottopongono alla segatura possono avere la lunghezza di m. 2 circa, e quando si tratta di piccoli rocchi, si uniscono insieme in modo di formare un composto della detta lunghezza di 2 metri, saldandoli sopra una lastra di pietra, che abbia alle estremità due labbri rilevati, per poter stringere tutti i rocchi, e impedire che scorrano sotto l' azione della lama.

Il taglio tende a ridurre i rocchi di pietra alle forme, e alle dimensioni opportune, secondo l' uso a cui sono destinati. L' operazione effettiva consiste nel recidere, o *mandare in iscaglie il rustico*, cioè la pietra superflua, staccandola con uno scalpello appuntato, che dicesi *subbia*, a colpi di martello. Le norme opportune, per regolare il taglio corrispondentemente alle forme e alle dimensioni stabilite, appartengono alla sterotomia. Quelle facce delle pietre, che si trovano già spianate dalla sega, non hanno bisogno d'altra riduzione: quelle, sulle quali è caduto il taglio, si spianano togliendo l' irregolarità lasciate dalla subbia a colpi di *martellina*, la quale altro non è che un martello a taglio dentato, che da una parte ha i denti più grandi dall' altra più minuti. Da prima si batte con la parte a denti più grossi, ed in fine si tolgono le più minute irregolarità adoperando quella parte della martellina, che ha i denti più piccoli. Le facce così spianate diconsi volgarmente in pratica ridotte a *pelle piana*. Le facce ricurve, ridotte con simile processo, diconsi a *pelle centinata*. Nelle pietre fine, o vogliam dire ne' marmi, la riduzione delle superficie, dopo di avervi passato quanto è necessario la subbia, si ottiene adoperando invece della martellina degli scalpelli a taglio dentato, chiamati *gradine*, per mezzo dei quali si tolgono l' ineguaglianze a colpi di martello, facendo uso prima d' una gradina a denti grossi, e quindi d' un' altra a denti minuti; dopo di che si fanno sparire l' asprezze più tenui con uno scalpello ordinario. Quelle superficie che sono già piane, per essere state rase dalla sega, non hanno bisogno d' ulteriore riduzione, e diconsi *a pelle piana di sega*.

Il polimento delle superficie de' marmi è un articolo che riguarda semplicemente la decorazione. Tuttavia accenneremo brevemente come

si eseguisca. Il polimento si ottiene per mezzo di sei successive operazioni, le quali diremo in generale in che consistano, sebbene, secondo le qualità diverse de' marmi, vadano talvolta soggette a qualche modificazione. La prima operazione, dopo che la superficie è tirata con lo scalpello o con la sega, dicesi *orsatura*, e serve a fare svanire le più piccole irregolarità, che lo scalpello o la sega non hanno potuto distruggere. Si eseguisce stropicciando quanto è necessario la superficie in lungo ed in largo con un pezzo di pietra arenaria, o di natura analoga, il quale dicesi *orso*. In Roma, gli scalpellini si servono per orsare da prima d'un orso di pietra manziana (§. 506), e in appresso d'un orso più fino di marmo. All'orsatura succede la *rotatura*, la quale si eseguisce fregando la superficie, prima con un pezzo di cote, o pietra da affilare ordinaria, e quindi con un pezzo di pietra della stessa specie più fina. Nell'eseguire queste due prime operazioni importa che la superficie da polirsi sia cospersa d'arena, o di polvere di pietra arenaria, e sia umettata costantemente d'acqua. Segue la *stuccatura*, che consiste nello stuccare le cavità, che potessero essere nel marmo, con mastice, ordinariamente di solfo, mescolato con terre colorate, confacenti al colore, o alle macchie naturali della pietra. La quarta operazione è la *pomiciatura*; e questa si eseguisce strofinando con pezzi di pietra pomice la superficie della pietra, sempre bagnata con acqua. Si passa quindi alla quinta operazione, che è la *piombatura*, e consiste nel passare sulla superficie del marmo un pezzo di piombo, cospergendola di finissimo smeriglio sciolto nell'acqua. Sogliono valersi gli scalpellini di quella poltiglia, che risulta dal segare i marmi più nobili, come si disse, con lo smeriglio, alla quale danno la denominazione corrotta di *spoltriglio*. Per taluni marmi invece della piombatura si pratica un'operazione analoga, che volgarmente chiamasi *strufolonatura*, spargendo sulle superficie della pietra limatura di piombo e spoltriglio, e fregandola con un forbitoio, che dicesi *struffolone*, formato di stracci di tela, o di vecchi pezzi di fune sfilata. Finalmente la sesta operazione, che chiamasi *schiarimento* o *brunitura*, conduce la superficie del marmo all'ultimo polimento, e si eseguisce forbendo la superficie stessa con uno strofinaccio di tela, mentre si viene di mano in mano tenendo umida con una spugna bagnata, ed infiorandola con una polvere o di terra rossa, ovvero d'ossido di stagno, secondo che il marmo è colorato ovvero bianco; e si continua a strofinare finchè la superficie abbia preso il più bel lustro.

§. 509. La durezza è quella proprietà, che preserva le pietre dal logorarsi per l'attrito. Alcune specie di pietre, quantunque dotate d'un sufficiente grado di resistenza per poter essere impiegate con sicurezza

nella composizione delle masse murali, comunque esposte a dover sopportare pressioni verticali o spinte laterali, non sono tuttavia adattate, per difetto di durezza, a servire ad alcuni usi, che le renderebbero soggette ad essere in breve corrose dal troppo frequente attrito; come nelle selciate, ne' pavimenti, nelle scale. La maggiore o minor durezza si manifesta nelle pietre particolarmente sotto l'azione della sega; e quindi giustamente si può dedurre il rapporto della durezza d'una a quella d'un' altra specie di pietra, dall'osservare in pratica il rapporto de'tempi necessari ad effettuare la segatura in una stessa estensione superficiale sull' una e sull' altra specie. Laonde i risultati dell'osservazioni sul tempo della segatura, dei quali daremo conto nel libro quinto, gioveranno a far conoscere comparativamente i gradi di durezza, che competono a molte specie di pietre. Così apparirà che la durezza del porfido sta a quella del granito rosso d'Egitto :: 3: 2; che quella del granito è a quella del diaspro di Sicilia :: 13:2; ec.

§. 510. Importa ancora generalmente che le pietre destinate alla composizione delle masse murali abbiano la facoltà di attaccarsi fortemente alle malte; la quale appunto abbiamo voluto esprimere con la denominazione di affinità con le malte (§. 500). Si è generalmente osservato che questa facoltà è posseduta in maggior grado dalle pietre, secondo che è minore la loro durezza, ed a norma che sono meno compatte, e che hanno le superficie meno liscie. Si è pure osservato che ordinariamente le malte fanno debole presa sulle pietre arenarie; e che le pietre molari, quantunque molto dure, sono capaci di acquistare una forte aderenza con le malte nella costruzione de' muri.

§. 511. Alcuni caratteri accidentali, i quali denotano la cattiva disposizione delle pietre, relativamente all'una o all'altra delle buone qualità, che abbiamo enumerate, e segnatamente alla lavorabilità (§. 508), si esprimono in pratica con particolari modi di dire. Così per esempio dicesi pietra *fiera*, ovvero marmo *fiero*, quella pietra o quel marmo, che resiste molto al taglio, e che è soggetto a scagliarsi quando si lavora per tirarlo a spigoli vivi. *Nodosa* dicesi quella pietra, e così quel marmo, nella di cui pasta sono frammisti dei nocchi di pietra più dura. Se i nocchi sono di sostanza metallica, come talvolta accade in alcune specie di marmi, diconsi *smerigli*. Alcuni marmi, che sono traversati da naturali screpolature, i quali perciò facilmente vanno in pezzi nel lavorarli, diconsi *filardesi*. Altri, i quali hanno della cavità, che si fanno scomparire riempendole di mastice, o di stucco, chiamansi *tarlati*. Alcuni, che per quanto sieno politi o lustrati mostrano sempre una superficie come appannata, sono denominati *untuosi* ed anche *oliosi*, ec.

§. 512. Le pietre nei naturali depositi sono ordinariamente coperte da

uno strato superiore di materia lapidea sì, ma non perfettamente consolidata, la quale è fragile, incapace di resistere all'aria, all'umido, e al gelo, e volgarmente dai cava pietre, e dagli scalpellini vien chiamata *cappellaccio*. Questa materia disadatta ad ogni sorta di lavori deve separarsi nelle petraie dalla buona pietra da costruzione, e se qualche parte ne rimane attaccata ai massi, importa che ne venga distaccata nella lavoratura. Il lasciare poi le pietre in riposo dopo che sono state cavate, direm quasi a stagionarsi, prima che sieno messe in opera, oltre che serve a far conoscere l'indole buona o cattiva di quelle pietre, di cui non erasi prima avuta esperienza (§. 506), giova anche a far migliorare alcune specie, e segnatamente le pietre tenere, le quali, asciuttandosi così lentamente all'aria ed al sole, divengono più consistenti e più atte a resistere all'intemperie, che se venissero messe in opera appena uscite dalla cava. Vitruvio, parlando dei tufi vulcanici della adiacenza di Roma, raccomanda che si cavino in estate, e che si lascino all'aria in luoghi aperti, per non impiegare, che dopo due anni, nella costruzione dei muri sopra terra quei massi, che non danno segni d'alterazione, riserbando quelli, che hanno sofferto qualche detrimento, per la costruzione dei muri sotto terra (1).

§. 513. Chiuderemo il capitolo con la promessa tabella dei pesi specifici (§. 502), e delle resistenze allo schiacciamento (505) di varie pietre, e di vari marmi, nell'ultima colonna della quale si troveranno citati i nomi degli autori, alle sperienze, o alle relazioni de'quali sono dovute le notizie registrate nelle precedenti colonne. Gli articoli, ai quali non è citato verun nome, somministrano alcuni pochi risultati intorno al peso specifico, ottenuti qui in Roma per mezzo di recentissime esplorazioni. Nella nomenclatura per maggiore facilità si sono ritenute le denominazioni usuali delle pietre e de'marmi.

---

(1) *De Architectura* - Lib. II cap. VII.

# TABELLA

## *Dei pesi specifici, e delle resistenze allo schiacciamento d' alcune pietre da costruzione.*

| numerazione | nomenclatura delle pietre, e brevi connotati | peso specifico | resistenza allo schiaccia-mento | citazioni |
|---|---|---|---|---|
| | ***CLASSE I. Marmi*** | *kilog.* | *kilog.* | |
| 1 | Africaoo . . . . . | 2729 | » | Rondelet |
| 2 | Alabastro orieotale bianco . . . | 2730 | » | idem |
| 3 | Alabastro coo macchie brune . . . | 2744 | » | idem |
| 4 | Alabastro semitrasparente . . . | 2762 | » | idem |
| 5 | Alabastro rossigno mischio . . . | 2796 | » | idem |
| 6 | Alabastro giallo di Malta . . . | 2700 | » | idem |
| 7 | Alabastro gessoso . . . . | 2250 | » | idem |
| 8 | Bardiglio di Carrara . . . . | 2714 | » | idem |
| 9 | Basalte del pavimento de' giganti . . | 2864 | » | idem |
| 10 | Basalte di Svezia . . . . . | 3065 | 1912 | idem |
| 11 | Basalte dell' Alvergoa . . . . | 2884 | 2078 | idem |
| 12 | Breccia violetta d' Italia . . . . | 2831 | » | idem |
| 13 | Breccia violetta di Spagna . . . | 2763 | » | idem |
| 14 | Breccia rossa o gialla . . . . | 2725 | » | idem |
| 15 | Breccia rossa d' Aleppo . . . . | 2711 | » | idem |
| 16 | Breccia gialla d' Aleppo . . . . | 2687 | » | idem |
| 17 | Breccia di Memfi . . . . . | 2651 | » | idem |
| 18 | Broccatello bigio de' Pirenei . . . | 2678 | » | idem |
| 19 | Broccatello giallo . . . . . | 2669 | „ | idem |
| 20 | Cipollino . . . . . . | 2726 | „ | idem |
| 21 | Granito rosso d' Egitto . . . . | 2654 | „ | idem |
| 22 | Granito simile . . . . . . | 2618 | „ | Masi |
| 23 | Granito simile . . . . . . | 2686 | „ | „ |
| 24 | Granito d' Egitto d' un bel rosso . . | 2760 | „ | Rondelet |
| 25 | Graoito d' Egitto color di carne . . | 2583 | „ | idem |
| 26 | Granito giallo d' Egitto . . . . | 2663 | „ | idem |
| 27 | Granito bigio d' Egitto . . . . | 2728 | „ | idem |
| 28 | Granito rosa orientale . . . . | 2662 | 880 | idem |
| 29 | Granito verde . . . . . . | 2887 | „ | idem |
| 30 | Granito di Russia . . . . . | 2630 | „ | idem |
| 31 | Granito di Daoimarca . . . . | 2697 | „ | idem |
| 32 | Granito de' Pirenei . . . . . | 2673 | „ | idem |
| 33 | Granito verde de' Vosges nella Francia . . | 2854 | 619 | idem |

| numerazione | nomenclatura delle pietre, e brevi connotati | peso specifico | resistenza allo schiaccia-mento | citazioni |
|---|---|---|---|---|
| | | *kilog.* | *kilog.* | |
| 34 | Granito bigio de' Vosges . | 2640 | 423 | Rondelet |
| 35 | Granito bigio della Brettagna . . . | 2737 | 654 | idem |
| 36 | Granito della Normandia denominato *gatmos* | 2662 | 702 | idem |
| 37 | Granito turchino d'Aberdeen nell'Inghilterra | 2625 | 775 | Rennie |
| 38 | Granito di grana stretta di Peterhead nell'Inghilterra . . . . . . | ,, | 588 | idem idem |
| 39 | Granito di Cornovaglia . | 2662 | 451 | idem |
| 40 | Granito rosso di Baveno nel Novarese sul lago Maggiore . | 2603 | ,, | Bruschetti |
| 41 | Granito bianco del lago suddetto . . | 2657 | ,, | idem |
| 42 | Granito bianco della riva di Chiavenna . | 2624 | ,, | idem |
| 43 | Marmo verde antico . . . . | 2870 | ,, | Rondelet |
| 44 | Marmo bianco di Paros . . . | 2817 | ,, | idem |
| 45 | Marmo campano verde . . . . | 2742 | ,, | idem |
| 46 | Marmo campano rosso . . . . | 2724 | ,, | idem |
| 47 | Marmo nero di Fiandra . . . . | 2721 | 789 | idem |
| 48 | Marmo di Fiandra denominato *cervelas* . | 2720 | 404 | idem |
| 49 | Marmo bianco statuario . . . . | 2695 | 327 | idem |
| 50 | Marmo turchino di Genova . . . | 2716 | ,, | idem |
| 51 | Marmo verde di Genova . . . | 2680 | ,, | idem |
| 52 | Marmo di Sicilia . . . . . | 2715 | ,, | idem |
| 53 | Marmo bianco di Carrara . . . | 2716 | ,, | idem |
| 54 | Marmo bianco come sopra . . . | 2435 | ,, | Masi |
| 55 | Marmo nero di Varenna . . . . | 2722 | ,, | Bruschetti |
| 56 | Marmo bianco italiano venato . . | 2726 | 687 | Rennie |
| 57 | Marmo rosso di Devonshire nell' Inghilterra | ,, | 527 | idem |
| 58 | Ofite, o sia serpentino verde . . | 2922 | ,, | Rondelet |
| 59 | Porfido rosso . . . . . . | 2833 | ,, | idem |
| 60 | Porfido verde antico . . . . | 2875 | ,, | idem |
| 61 | Porfido . . . . . . . | 2798 | 2001 | idem |
| 62 | Portoro . . . . . . . | 2710 | ,, | idem |
| | *CLASSE II. Pietre dure* | | | |
| 63 | Arenaria durissima rossigna . . . | 2517 | 813 | idem |
| 64 | Arenaria bianca . . . . . | 2476 | 933 | idem |
| 65 | *Banc franc*, pietra così detta di Mont-rouge presso Parigi . . . . . | 2355 | 258 | idem |
| 66 | Beola, pietra così detta bigio chiara di Bevera presso il lago Maggiore . . . | 2552 | 462 | idem |

| numerazione | nomenclatura delle pietre, e brevi connotati | peso specifico | resistenza allo schiacciamento | citazioni |
|---|---|---|---|---|
| | | *kilog.* | *kilog.* | |
| 67 | Beola del lago Maggiore . . . . . | 2616 | " | Bruschetti |
| 68 | Ceppo, pietra così detta di Brambata presso Milano . . . . . . . | 2222 | 99 | Rondelet |
| 69 | Chieppo di grana fina, misto di qualche ciottolo, del Milanese . . . . . | 2304 | " | Bruschetti |
| 70 | *Cliquart*, pietra così detta, di Meudon presso Parigi . . . . . . | 2439 | 479 | Rondelet |
| 71 | Cliquart di Mont-rouge, parimente presso Parigi . . . . . . . | 2439 | 359 | idem |
| 72 | *Grit*, pietra silicea rossa friabile di Derby nell' Inghilterra . . . . | 2316 | 223 | Rennie |
| 73 | Lava vesuviana durissima di colore cupo . | 2642 | 635 | Rondelet |
| 74 | Lava vesuviana simile alla precedente . | 2600 | 607 | idem |
| 75 | *Liais*, pietra così detta, di Bagneux presso Parigi . . . . . . . | 2439 | 445 | idem |
| 76 | Macigno, lava così detta delle Frattocchie presso Albano . . . . . . | 2771 | " | " |
| 77 | Macigno, pietra bigia, detta anche *serena*, di Fiesole . . . . . . . | 2557 | 422 | Rondelet |
| 78 | Manziana, lava così detta, adoperata in Roma | 2234 | " | " |
| 79 | Peperino, tufo vulcanico così detto di Marino presso Roma . . . . . . | 1973 | 228 | Rondelet |
| 80 | Peperino delle medesime cave . . . . | 2131 | " | Masi |
| 81 | Peperino come sopra . . . . . | 1866 | " | " |
| 82 | Pietra d' Istria . . . . . . | 2618 | 512 | Rondelet |
| 83 | Pietra d' Istria . . . . . . | 2757 | " | " |
| 84 | Pietra di Caserta presso Napoli . . | 2718 | 595 | Rondelet |
| 85 | Pietra di Portland nell' Inghilterra . . | 2428 | 325 | Rennie |
| 86 | Pietra silicea di Dundee . . . . . | 2530 | 471 | idem |
| 87 | Pietra da gesso di Montmartre presso Parigi | 1906 | 67 | Rondelet |
| 88 | Pietra di Saillancourt adoperata nel ponte di Neuilly . . . . . . . | 2408 | 141 | idem |
| 89 | Pietra d' Angera presso Milano . . . | 2338 | 321 | idem |
| 90 | Pietra di Givry presso Châlons-sur-Saône in Francia . . . . . . . | 2357 | 193 | idem |
| 91 | Pietra di Veggiù ne' contorni di Milano . | 2237 | 209 | idem |
| 92 | Pietra di Mapello adoperata a Milano . | 2632 | " | Bruschetti |
| 93 | Piperno, lava così detta, di Napoli . . | 2596 | 592 | Rondelet |
| 94 | *Roche*, pietra dura conchiglifera, d' Arcueil presso Parigi . . . . . . | 2094 | 122 | idem |

| numerazione | nomenclatura delle pietre, a brevi connotati | peso specifico | resistenza allo schiacciamento | citazioni |
|---|---|---|---|---|
| | | *kilog.* | *kilog.* | |
| 95 | Selcio, lava così detta, di Capo-di-bove presso Roma . . . . . . . | 2686 | „ | „ |
| 96 | Travertino delle cave di Tivoli presso Roma | 2359 | 298 | Rondelet |
| 97 | Travertino delle medesime cave . . | 2191 | „ | Masi |
| 98 | Travertino come sopra . . . . | 2291 | „ | „ |
| 99 | Travertino del tempio di Pesto . . | 2254 | 226 | Rondelet |
| 100 | Viganò pietra così detta di Milano . . | 2203 | 136 | idem |
| | *CLASSE III. Pietre tenere* | | | |
| 101 | *Lambourde*, pietra così detta, di Conflans, adoperata a Parigi . . . . . | 1819 | 56 | idem |
| 102 | *Lambaurde* di qualità inferiore de' contorni di Parigi . . . . . . . | 1561 | 23 | idem |
| 103 | Pietra di Givry . . . . . . | 2081 | 88 | idem |
| 104 | Pietra di Saint-Leu adoperata a Parigi . | 1705 | 55 | idem |
| 105 | Pietra pomice, prima qualità . . . | 675 | 42 | idem |
| 106 | Pietra pomice, seconda qualità . . | 605 | 35 | idem |
| 107 | Pietra pomice, terza qualità . . . | 556 | 28 | idem |
| 108 | Scoria vulcanica de' cootorni di Roma . | 891 | 37 | idem |
| 109 | Scoria vulcanica de' contorni di Napoli, prima qualità . . . . . . | 859 | 33 | idem |
| 110 | Scoria vulcanica di Napoli, secouda qualità | 789 | 26 | idem |
| 111 | Tufo vulcanico di Napoli . . . . | 1302 | 52 | idem |
| 112 | Tufo medesimo . . . . . . | 1265 | 47 | idem |
| 113 | Tufo vulcanico di Roma . . . . | 1217 | 58 | idem |
| 114 | *Vergelé*, pietra così detta de'contorni di Parigi . . . . . . . . | 1831 | 60 | idem |

## CAPO III.

### *Delle pietre artefatte*.

§. 514. Le pietre artefatte sono principalmente destinate a supplire alla mancanza di buone pietre fossili; ma in talune occorrenze si preferiscono anche a queste o in grazia della maggior leggerezza, o della maggior facoltà, di cui son dotate, di resistere all' aria, all' umido, e al gelo; o finalmente atteso l' uniformità della grandezza e della figura, per cui si riconoscono più confacenti alla regolarità, alla speditezza, e all' economia delle costruzioni. In generale le pietre artefatte sono formate di terra argillosa, purgata, e ben impastata, ridotta mentre è molle in pezzi di figura e dimensioni stabilite; i quali si fanno quindi seccare e indurire, o tenendoli semplicemente esposti all' aria e ai raggi solari, ovvero entro una fornace all' azione d'un fuoco intenso, e continuato regolatamente per parecchi giorni. Queste pietre artefatte diconsi con latina etimologia materiali *laterizi*, ed anche semplicemente *laterizi*, qualunque sia l' uso a cui vengono riserbati nell' arte di fabbricare. Diconsi con speciale denominazione *mattoni* quelle pietre laterizie, che sono espressamente destinate per la costruzione de' muri, e che hanno per solito la forma di parallelepipedo rettangolo. Da principio i laterizi furono di terra argillosa schietta, formati grossolanamente a mano, seccati e induriti dall' aria e dal calore solare. Col progresso del tempo si conobbe utile di mescolar con la terra della paglia triturata, s'introdusse l' uso di preparare i pezzi entro forme di legno, e si stabilì l' utilissima pratica di cuocerli. La cottura rende i laterizi più leggeri, ne aumenta notabilissimamente la durezza, e la resistenza; e sopra tutto comunica ad essi la facoltà di reggere alla intemperie, della quale vanno sforniti mentre sono crudi. I laterizi crudi, appunto pel difetto ora enunciato, si mantengono in uso soltanto nella Persia, e in altre parti dell' Asia, ove regna un clima dolce ed asciutto; nè potrebbero in altri climi venire tollerati, se non che nella costruzione di qualche muro interno ben riparato dall' aria, e dall' umidità.

§. 515. I mattoni crudi non s' impiegano ordinariamente nella costruzione de' muri se non sono perfettamente diseccati ed induriti; per lo che stabilivasi da Vitruvio essere necessario il lasso d' un biennio (1).

---

(1) *De architectura* - Lib. II cap. III.

Havvi tuttavia un genere di struttura, che i Francesi chiamano *pisé*, in cui la terra si adopera cruda ed umida a formare le masse murali, entro grandi forme posticce di tavole, che si vanno ingrandendo e traslocando, di mano in mano che l' opera viene dilatandosi, ed innalzandosi. La terra si distende entro le forme a sottili strati ben compressi a forza di batterli. Qualunque specie di terra è adattata a quest' uso, purchè vi si ravvisi un qualche grado di tenacità: ma principalmente le terre forti alcun poco ghiaiose. È d'uopo per altro di prepararle sminuzzandole, facendole passare per un graticcio, onde separarne i sassi, che fossero più grossi d' una noce; e qualora sieno troppo asciutte è necessario d'inumidirle, aspergendole a poco a poco d' acqua, e rimescolandole in guisa, che l'umidità divenga uniforme in tutto l'ammasso. Si conosce che la terra è bastantemente umida, allorchè stringendola nella mano, e gittandola nel mucchio, non si scioglie, ma conserva la forma a cui è stata ridotta comprimendola. La costruzione vien regolata con tale artifizio, che i muri vengono composti di tante masse aderenti l'una all'altra, e disposte in ordini o banchi orizzontali, come nelle costruzioni in pietra da taglio; e di mano in mano ch'è compita una massa, si dismette la forma, e quindi si ricompone ove fa d'uopo per la costruzione delle masse adiacenti, e delle superiori. Terminati i muri si aspetta che sieno asciutti, per ricoprirne le superficie d' un intonaco di gesso o d' altra malta. Si è osservato che in un clima temperato, come quello di Lione nella Francia, dei muri di questa specie della grossezza di circa m. 0,50, fabbricati nella primavera, sono a tiro d' essere intonacati nel susseguente autunno. Nel territorio lionese, ed in altre provincie meridionali della Francia, cotesto metodo di fabbricare è molto in uso per gli edifizi rurali. Il Rondelet, nell' opera del quale possono vedersi tutte le minute pratiche necessarie per ben regolare questa sorta di costruzioni (1), assicura d' aver veduto dei muri di questa specie fabbricati da molto tempo, i quali quantunque non difesi da verun intonaco, erano restati illesi dalle intemperie; e racconta pure che avendo avuto occasione di far eseguire dei ristauri in una fabbrica di campagna, la quale aveva un secolo e mezzo, trovò che i muri della medesima, costrutti al modo di cui parliamo, avevano acquistato una consistenza, ed una durezza non minore delle pietre tenere di mediocre qualità, di cui si fa uso a Parigi; così che per ingrandire i vani delle finestre, e per farne dei nuovi, fu duopo d' agire come se si fosse trattato di un lavoro in pietra da taglio. Aggiugne finalmente d' avere sperimentato, che giova

(1) *Traité théorique et pratique de l' art de bâtir* - Lib. II sez. I artic. II.

grandemente a rendere cotesti muri di maggior consistenza, di adoperare del *latte* di calce in vece dell' acqua pura, per umettare la terra nel prepararla prima che fosse messa in opera. Del resto questa maniera di fabbricare era nota agli antichi, poichè Plinio ci racconta (1), che nell' Africa e nella Spagna si costruivano di tali muri di terra, a cui giustamente si dava il nome di muri di getto, (*parietes formacei*), i quali erano di lunga durata, inalterabili ai geli, ai venti, ed al fuoco, e più solidi di qualunque muro di pietrame.

§. 516. Secondo gl' insegnamenti di Vitruvio (2) per ottenere buoni laterizi convien far uso, come già si disse (§. 514), di terra argillosa, poichè questa per la sua pastosità è capace di prendere consistenza, e produce un materiale solido insieme e leggero. L' altre specie di terre o non sono atte a prendere consistenza, o la perdono all' azione del fuoco nella fornace, ovvero producono un materiale troppo pesante, e incapace di resistere all' aria, all' umidità, e alle gelate. È segno di buona terra da materiali laterizi, quando inumidita, e rimenata fralle mani, divien pastosa e tenace, e riceve l' impressioni delle dita senza screpolare. Quando si scorge che la pasta non è dotata della conveniente duttilità, e tenacità, non di rado si perviene a correggerla, mescolandovi qualche quantità o d' argilla pura, o di sabbia; quella cioè di queste due sostanze, ed in quella proporzione, che si sarà conosciuta necessaria dietro reiterati tentativi. Si richiede la massima diligenza nell' espurgare la terra da ogni materia lapidea o piritosa, che vi fosse mescolata; poichè queste sostanze eterogenee calcinandosi, o decomponendosi alla temperatura della fornace, ovvero potendo servir di fondente all' argilla, produrrebbero dannose alterazioni sia nella forma, sia nella qualità de' laterizi.

§. 517. Le stagioni propizie per l' apparecchio dei materiali laterizi sono la primavera, e l' autunno. Quando si preparano nell' estate, il troppo pronto prosciugamento delle parti esteriori, non potendo essere accompagnato da un corrispondente restringimento delle parti interne, ove l' umidità rimane concentrata, fa sì che i mattoni, e gli altri articoli apparecchiati si fendono all' intorno. Nell'inverno i geli, e l'umidità dell' atmosfera si oppongono al buon impasto delle terre, e all' asciugamento de'materiali laterizi. Giova bensì di mettere in ordine l'autunno le terre pei materiali da fabbricarsi nella susseguente primavera, e di lasciarle esposte alle piogge ed ai geli, poichè in tal guisa si addolciscono, si macerano, e si rendono più disposte ad essere ben

(1) *Historiae naturalis* - Lib. XXXV cap. XIV.
(2) Nel luogo precitato.

impastate. Ordinariamente si rimena e s' impasta la terra coi piedi per ridurla a perfetta omogeneità, e consistenza. Le varie macchine, che sono state inventate per agevolare questa preparazione della terra, non hanno ancora acquistato un credito sufficiente per poter essere adottate con qualche generalità. Nell' impasto la materia vuol essere diluita: ma si è riconosciuto per esperienza, che in generale la quantità dell' acqua non deve oltrepassare in volume la metà di quella della terra.

§. 518. Purgata ed impastata la terra se ne fanno i mattoni, le tegole, ed altri materiali laterizi, entro forme o stampe di legno, che di volta in volta debbono essere internamente spalmate di sabbia fina. Importa che la terra sia quanto più è possibile compressa entro le forme; giacchè l' esperienza costantemente ha dimostrato, che quanto più si rende densa la pasta, tanto più i laterizi riescono forti. Si cospergono di sabbia le superficie de' laterizi, che non sono coperte dai lati delle forme, e quindi i pezzi si portano con tutta la forma sull' aie spianate ed impolverate anch' esse di sabbia, ove si depositano, facendoli uscire dalle stampe; e vi si lasciano quanto basta, perchè possano lentamente ascingarsi. Le aie è duopo che sieno in luogo riparato dall' umido, e dall' intemperie. Generalmente la fabbricazione de' laterizi s' eseguisce a mano. Per altro sarebbe assai utile che venissero promossi alcuni metodi meccanici, già tentati con buon successo, i quali tendono non solo a rendere più spedita la fabbricazione de' mattoni, ma ben anche a renderli di qualità più perfetta, per la maggior compressione della materia, prodotta dal giuoco d' opportuni meccanismi (1).

§. 519 La forma ordinaria de' mattoni inservienti alle costruzioni murali è quella di parallelepipedo rettangolo (§. 514). Anticamente però presso i Romani furono anche in uso de' mattoni triangolari. I laterizi destinati per le coperture delle fabbriche hanno particolari forme, di cui abbiamo già dato contezza nel libro secondo (§. 288). Si fanno anche dei tubi di terra cotta per la condottura dell' acque. I mattoni crudi, che l' anno 1745 furono osservati da Goux de la Boulaye ne' pretesi avanzi della torre di Nembrod ne' dintorni di Babilonia, sono di base quadrata col lato di tre decimetri o poco più, ed hanno la grossezza d' un decimetro (2). Non rimane alcun vestigio di costruzioni greche e romane in laterizi crudi; ed il testo vitruviano, ove parla delle dimensioni di questi materiali, presenta varie lezioni, ed ha ricevuto diverse interpretazioni: per lo che sembra che nulla di certo possa

(1) *Annales de l' industrie* - Tomo I pag. 42. - *Bulletin des sciences technologiques* - Tom. VIII pag. 47.
(2) Rondelet - *Traité de l' art de bâtir* - Lib. II sez. I art. I.

stabilirsi a questo proposito. I mattoni cotti, che si rinvengono negli antichi monumenti di Roma sono quadrati, ovvero triangolari. I più grandi mattoni quadrati hanno m. 0,596 di lato, e m. 0,050 di grossezza; i mezzani m. 0,447, e m. 0,045; i più piccoli m. 0,199, e m. 0,040. I mattoni triangolari sembra che altro non fossero, che piccoli mattoni quadrati tagliati sulla diagonale (1). I mattoni moderni per la fabbrica de' muri non sono quadrati, ma generalmente oblunghi. I mattoni quadrati si riserbano soltanto per la costruzione de' pavimenti. Le dimensioni dei laterizi cotti sono varie, secondo le diverse consuetudini de' luoghi, ed ordinariamente sono stabilite da pubblici regolamenti, o da statuti municipali, i quali sogliono provvidamente prescrivere le più scrupolose discipline per assicurare la buona fabbricazione di cotesti materiali, ed affidarne la tutela a qualche magistrato, o a qualche edilizia autorità. Daremo alla fine di questo capitolo una tabella delle varie specie di materiali di terra cotta, che si fabbricano alle figuline di Roma, e delle dimensioni che debbono avere a norma dell'ultimo editto camerale (2). In generale i mattoni cotti riescono di qualità più perfetta quanto meno hanno di grossezza, atteso che si asciugano più regolarmente, e prendono meglio la cottura; onde la massa acquista una consistenza uniforme. Per procurare che l' azione del fuoco penetrasse meglio nell'interno de' mattoni, gli antichi avevano l' uso di pertugiarli in vari punti; nè per altro scopo essi costumavano di frammischiare della paglia alla terra, di cui i laterizi dovevano essere formati.

§. 520. Le fornaci pei materiali laterizi hanno differenti forme, a seconda delle diverse specie di combustibile, che possono esservi adoperate; e che sono la legna, il carbon fossile, e la torba. In Italia non si fa uso che di legna. Delle fornaci ve ne sono delle piccole e delle grandi, capaci di contenere da 25 a 100 migliaia di mattoni. Nell'Italia si fabbricano generalmente le fornaci con mattoni crudi; e questo stile è pure adottato nella Svezia, ed in alcune provincie settentrionali della Francia. I laterizi vengono disposti entro la fornace a strati regolari, ed in modo che i pezzi sieno alcun poco discosti l' un dall'altro, affinchè tutti possano essere da ogni parte investiti dal fuoco. Sull' ultimo strato superiore si distende un suolo d' argilla, grosso m. 0,10 circa, acciò il calore rimanga concentrato, e possa essere modificato a piacimento, col formare dei pertugi qua e là, secondo l' occorrenza, in questo coperchio. Affinchè l' azione del fuoco sui mattoni produca un regolare effetto, si è conosciuto per esperienza esser necessario, che

(1) Ibidem - Art. III.
(2) Del 25 settembre 1821.

nelle prime 24 ore si mantenga ad un grado moderato: che quindi venga mantenuto per altre 36 ore ad un grado più intenso: e che finalmente trascorse queste prime 60 ore si aumenti il fuoco, e si conservi nel maggior grado d' intensità, finchè il materiale sia cotto a perfezione. I laterizi cotti vogliono esser lasciati nella fornace a raffreddarsi lentemente, poichè un raffreddamento troppo rapido li fa deteriorare, e li rende proclivi a sfogliarsi, e a sfarinarsi per la compressione, e per le gelate. Rigorosamente non dovrebbero perciò essere estratti dalla fornace, che cinque o sei settimane dopo la cessazione del fuoco.

I mattoni d' una medesima infornata riescono inevitabilmente di qualità diverse, secondo che per la varia loro posizione nella fornace hanno provato più o meno l'azione del fuoco. Qualora per altro il fuoco sia stato regolato con le debite cautele, tutti quanti i mattoni riescono buoni, purchè si abbia cura di destinarli opportunamente alle varie occorrenze delle costruzioni secondo le diverse loro qualità; vale a dire secondo la diversa leggerezza, resistenza, durezza, e capacità di sopportare l'intemperie, che possono avere acquistato pel diverso grado di cottura. Si potrebbero ottenere dei mattoni dotati di singolare durezza, facendoli cuocere di bel nuovo, dopo di averli lasciati a raffreddarsi, e di averli poscia tenuti immersi per qualche tempo nell' acqua. Cotesti mattoni *biscotti* prendono un colore più cupo, assorbiscono meno l'acqua, e sono più indomabili all' intemperie. Quei laterizi, i quali per aver sentito troppo vivamente l'azione del fuoco, sono semivetrificati, diconsi *arcicotti*. Essi riconosconsi al colore bigio ferreo, alla frattura vitrea: non si appiccicano alla lingua, e tanta è la loro durezza, che giungono a raschiare il vetro.

§. 521. Quantunque comunemente si ritenga che la gravità specifica de' mattoni sia 2000, tuttavia in fatto i laterizi cotti sono più e meno leggeri, secondo le diverse qualità delle terre di cui sono formati, secondo la più o meno accurata preparazione delle terre medesime, secondo il maggiore o minore costipamento, a cui è stata ridotta la pasta nelle forme, finalmente secondo il grado della cottura. Quindi, per la sicurezza de' calcoli statici, è necessario che l' architetto abbia certa contezza, ovvero si assicuri per mezzo d'accurate esplorazioni, del vero peso specifico del materiale laterizio, di cui si vuol far uso nelle costruzioni. Alcuni mattoni rossi, esplorati non ha guari dal Rennie nell' Inghilterra, hanno manifestato una gravità specifica media di 2168; ed altri mattoni d' un rosso più pallido, posti alla prova dal medesimo Rennie; sono comparsi del peso specifico di 2085. I laterizi di Roma hanno il pregio di essere assai più leggeri, non ascendendo la gravità specifica d' essi che a 1654, come già altra volta fu avvertito (§. 297), e come si è raccolto assumendo il medio risultato di varie particolari esperienze.

A norma di alcuni ragguagli esibitici dal Canovai (1), di molto più leggeri sarebbero i mattoni ordinari della Toscana, poichè giusta le notizia medesima si dedurrebbe il peso specifico di quei mattoni uguale a 1,484: e leggeri anche più sono i mattoni di Milano, se, come troviamo reg strato (2), la gravità specifica di essi non è maggiore di 1,410.

§. 522. Da Vitruvio (3), e da altri antichi scrittori si fa menzione di una specie di mattoni crudi, che trovavansi a Pitane, città dell' Asia, ed a Calento e a Massilna, città della Spagna, i quali avevano la singolarissima proprietà d' essere specificamente più leggeri dell' acqua. Si pretende che nel medio evo fosse nota l' arte di fare consimili mattoni galleggianti, e che di questi siasi fatto uso nella costruzione della gran cupola di s. Sofia a Costantinopoli. A' nostri giorni il Fabbroni è pervenuto ad ottenere de' mattoni cotti specificamente più leggeri dell' acqua con quella sostanza minerale, che si conosce sotto il nome di *farina fossile*, e che trovasi in copia a Montamiata nella Toscana. La pasta di questi mattoni fabbroniani risulta dal miscuglio di due terzi di farina fossile con un terzo d' argilla comune; poichè la prima sostanza sola non riesce bastantemente duttile. Cotesti mattoni si attaccano perfettamente alle malte, resistono all' aria ed all' intemperie, e sono per così dire inalterabili al gelo, ed a qualunque intenso grado di calore. Quest'ultima proprietà, e la somma leggerezza, rendono questi singolari laterizi adattati a vari importanti usi. Per la leggerezza possono assai utilmente esser impiegati alla fabbricazione delle volte; come infusibili alla più alta temperatura sono stati proposti per la costruzione de' forni di riverbero: finalmente atteso che questo materiale è così imperfetto conduttore del calorico, che un mattone può essere tenuto in mano da un' estremità, mentre l' altra è rossa rovente, si è pensato di poterne formare degli articoli pirometrici, delle cucine a bordo alle navi, dei magazzini d' oglio, di sevo, di pece, e d' altre materie combustibili negli arsenali di marina, finalmente delle camere per la custodia delle polveri da fuoco. Il Faujas rinvenne poscia in Francia nel dipartimento dell' Ardeche un minerale congenere alla farina fossile di Montamiata, e riuscì a formarne de'mattoni leggeri, saldi, e refrattari al pari di quelli del Fabbroni.

Fino dal secolo decimosesto Niccolò Perotto, indotto in errore da uno sbaglio di qualche codice Vitruviano, aveva creduto che i rammemorati antichi mattoni crudi galleggianti fossero vacui, e che da ciò appunto dipendesse la straordinaria loro leggerezza. Il prenominato Canovai

(1) *Atti dell' accademia delle scienze di Siena.* Tomo VII.

(2) V. le memorie del Parea nell' istoria della navigazione del Milanese edita da Bruschetti.

(3) Lib. II cap III.

verso la fine dello scorso secolo in una dotta sua memoria (1) dimostrò come potrebbe vantaggiosamente introdursi l'uso di mattoni vuoti nel mezzo, i quali per la loro leggerezza sarebbero adattati per la costruzione delle volte, de'muri di tramezzo, ed in generale di tutte quelle masse, le quali non costituiscono i sostegni principali delle fabbriche, ed importa piuttosto che sieno di struttura solida, ed insieme leggera quanto più è possibile, onde la pressione o la spinta di esse contro i sostegni sia ridotta al minimo. Sappiamo ora (2), che già da sette anni a questa parte a Tolone in Francia si è introdotto l'uso de'mattoni vuoti, alla confezione de'quali si adopera una machina molto ingegnosa. Questi mattoni hanno il vano interno diviso da un tramezzo o diafragma, che serve a consolidarli. Se ne apparecchiano due specie, cioè i *semplici*, i quali hanno m. 0,28 di lunghezza, m. 0,14 di larghezza, ed altrettanto d'altezza, ed i *doppi*, i quali sono in lunghezza ed in larghezza uguali ai semplici, ed hanno m. 0,22 d'altezza. Si preparano anche dei mattoni cuneiformi per la costruzione delle volte. Questi laterizi vacui riescono solidissimi, ed oltre che sono utili in molte occorrenze in grazia della leggerezza, divengono anche economici, atteso che esigono minor quantità di combustibile de'mattoni ordinari nella cottura, e richiedono minor quantità di malta nella costruzione de'muri.

Nel prospetto degli usuali laterizi di Roma, che porremo alla fine di questo capitolo, sono dedotti i pesi assoluti delle varie specie dei mattoni, e degli altri materiali, dalla già annunciata gravità specifica di 1654 (§. 521).

§. 523. Le sperienze fatte dal Coulomb sopra alcuni mattoni di Provenza (3) ne fecero conoscere la resistenza assoluta di chilog. 18,7 per centimetro quadrato, che è appunto il valore addotto dal Venturoli (4). Il Tredgold trovò poco dissimile la resistenza de'mattoni inglesi, la quale risultò ne'suoi sperimenti di chilog. 19,2 (5). Molto minore sarebbe la resistenza assoluta del mattone secondo i risultati d'alcune recentissime sperienze del Bevan (6). Ma non siamo abbastanza informati intorno alle particolarità di tali ultime sperienze, per poter decidere qual grado di fiducia abbia in esse a riporsi. Altronde in pratica non havvi uso dei materiali laterizi, in cui sia d'uopo di tenerne a calcolo questa specie di resistenza.

(1) Nel precitato tomo VII degli atti dell'Accademia di Siena.
(2) *Bulletin des sciences technologiques* — Tomo VII pag. 358.
(3) *Mémoires des savants étrangers* — 1773.
(4) *Elementi di meccanica e d'idraulica* — Vol. I. lib. III cap. XVI.
(5) *A practical essay on the strength of cast iron* — pag. 150.
(6) *Bulletin des sciences technologiques* — Tomo VI pag. 238.

La resistenza rispettiva de' mattoni è stata recentemente esplorata nell'Inghilterra dal Barlow (1). Si desume dai risultati di coteste sperienze che il coefficiente $k$ della resistenza rispettiva è pei mattoni di più perfetta qualità $= 78042$, pei mattoni comuni nuovi $= 70830$, e pei mattoni comuni vecchi $= 60281$. Del resto anche per questa specie di resistenza la pratica non offre occasioni, nelle quali importi di doverne far capitale nell'uso de' mattoni.

Bensì di continuo nelle costruzioni murali è tenuta in esercizio la resistenza de' mattoni allo schiacciamento. Secondo l'esperienze del Gauthey (2) questa specie di resistenza nei mattoni ha il valor massimo di chilog. 173, il medio di chil. 149, il minimo di chil. 134 per ogni centimetro quadrato della base premuta. Nei mattoni inglesi, giusta i risultati delle sperienze del Rennie (3), la resistenza medesima ha il valor massimo di chil. 122, il medio di chil. 72,5, ed il minimo di chil. 40, parimenti per ciaschedun centimetro quadrato della base. Finchè non consti per mezzo di particolari sperienze il valore della resistenza allo schiacciamento de' mattoni nostrali, ovvero parlando in generale, di quelli che qua e là si offrono pei bisogni delle costruzioni; sarà conforme alla prudenza di non valutare la resistenza stessa nelle statiche ricerche più di chil. 40 per centimetro quadrato, vale a dire del minimo fra i più bassi risultati dell'esperienze del Gauthey, e del Rennie. E quando si tratti d'un esercizio di lunga durata, il prefato valore dovrà poi essere ridotto alla metà, come già si disse per le pietre naturali (§. 505), ed in grazia d'alcune di quelle medesime considerazioni, che furono già addotte in proposito della resistenza rispettiva, e della resistenza alla compressione del legname (§. 163, 168).

§. 524. I segni principali, dai quali si può arguire la bontà de' mattoni cotti, si ricavano dal suono de' medesimi, e dall'aspetto della pasta nella frattura. I buoni mattoni danno un suono chiaro ed acuto quando vengono percossi; quelli di cattiva qualità danno un suono sordo e cupo. I primi nella frattura mostrano una grana fina e compatta; i secondi appariscono porosi, e terrei nella frattura, e facilmente si sfarinano negli spigoli. La prova più decisiva della buona qualità de' mattoni si è quella di tenerli per un'invernata alla pioggia ed ai geli, e di osservare a primavera avanzata se siensi o no mantenuti esenti da ogni alterazione.

---

(1) *An essay on the strength and stress of timber* — pag. 250.
(2) *Journal de phisique* — Novembre 1774.
(3) *Philosophical transactions* — 1818.

## PROSPETTO

*Delle dimensioni dei volumi, e dei pesi de' materiali laterizi di Roma.*

| numerazione | denominazioni dei materiali | lunghezze once romane | lunghezze millimetri | larghezze once romane | larghezze millimetri | grossezze once romane | grossezze millimetri | volumi in metri cubi | pesi in chilog |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Mattone ordinario | 15,00 | 279 | 7,50 | 140 | 2,00 | 37 | 0,001445 | 2,390 |
| 2 | Mattone zoccolo | 15,00 | 279 | 7,50 | 140 | 4,00 | 74 | 0,002890 | 4,780 |
| 3 | Mattone grosso | 18,00 | 335 | 9,00 | 168 | 2,50 | 47 | 0,002645 | 4,375 |
| 4 | Pianella | 17,00 | 317 | 8,50 | 158 | 1,50 | 28 | 0,001402 | 2,319 |
| 5 | Quadruccio | 14,00 | 261 | 5,50 | 102 | 2,20 | 41 | 0,001092 | 1,806 |
| 6 | Mattone quadro | 12,00 | 223 | 12,00 | 223 | 1,50 | 28 | 0,001392 | 2,302 |
| 7 | Tegola piana | 21,00 | 391 | 17,30 | 322 | 1,40 | 26 | 0,004021 | 6,651 |
| 8 | Canale (*) | 21,00 | 391 | 8,65 | 161 | 1,20 | 22 | 0,002084 | 3,447 |

### *Tubi o condotti laterizi* (**)

| numerazione | denominazioni particolari | lunghezze onca romane | lunghezze millimetri | diametri once romane | diametri millimetri | grossezze once romane | grossezze millimetri | aree delle sezioni libere in metri quadrati | pesi in chilog. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | Condotto della Maddalena | 22,00 | 410 | 13,50 | 251 | » | » | 0,049501 | » |
| 10 | Condotto di Montecavallo | 22,00 | 410 | 9,50 | 177 | » | » | 0.024616 | » |
| 11 | Condotto di Civitavecchia | 22,00 | 410 | 8,50 | 159 | » | » | 0,019864 | » |
| 12 | Condotto bastardo | 22,00 | 410 | 6,50 | 121 | » | » | 0,011504 | » |
| 13 | Cannella da setta | 24,00 | 447 | 5,00 | 93 | » | » | 0,006796 | » |
| 14 | Cannella da sei | 24,00 | 447 | 4,00 | 75 | » | » | 0,004420 | » |
| 15 | Cannella da cinque | 21,50 | 400 | 3,40 | 63 | » | » | 0,003118 | » |
| 16 | Cannella da quattro | 20,00 | 372 | 2,50 | 47 | » | » | 0,001735 | » |
| 17 | Tortorello | 18,00 | 335 | 1,80 | 33 | » | » | 0,000856 | » |

(*) Per la tegola e pel canale sono qui notate le larghezze medie; i volumi, ed i pesi rispettivi essendo ricavati dalle precise loro dimensioni, dipendentemente dalle figure loro particolari, già descritte nel lib. II cap. X §. 288.

(**) I condotti di terra cotta non sono contemplati nell'editto camerale. Le lunghezze e i diametri de' medesimi sono fissati dalla consuetudine; le grossezze sono ad arbitrio de' fabbricanti. Nella lunghezza non è compreso quel breve tratto di minor grossezza, che è ad una dell'estremità di ciascun condotto, affinchè possa essere innestata ad un altro simile, e dicesi *boccaglia*. Il diametro appartiene al vano, o vogliam dire alla sezione del tubo.

## CAPO IV.

### *Delle malte.*

§. 525. Abbiamo già premesso (§. 492) che le malte, destinate a legare insieme le pietre nella costruzione de'muri, si distinguono in semplici e composte. Semplici sono quelle che si formano d'una sola sostanza; composte quelle che risultano dal miscuglio, o piuttosto dall'impasto di varie sostanze. Le proprietà essenziali delle malte in generale sono 1°. d'esser atte a consolidarsi in più o men breve tempo, e a divenir forti, a segno di poter sopportare una gagliarda compressione senza rimanere infrante; 2°. di contrarre nell'assodarsi una tenacissima aderenza con le pietre sieno naturali, ovvero artefatte, in guisa tale da poter formare con esse delle masse, le di cui parti sieno saldamente, e quasi indissolubilmente unite; 3°. di esser capaci di mantenersi esenti da qualunque alterazione all'aria, all'umido, al gelo, ed ai raggi solari. La bontà delle malte consiste nell'essere più o meno dotate di queste proprietà, il che dipende e dall'indole naturale delle sostanze, di cui sono formate, e dalla giusta proporzione del miscuglio, quando le malte sono composte, e finalmente dalle cure dell'apparecchio.

§. 526. I babilonesi, i persiani, e i cinesi adoperarono ne'più antichi tempi il bitume in qualità di malta nella costruzione de'muri. Nè sussiste tuttora un esempio ne'supposti avanzi della torre di Babele, dei quali facemmo altra volta menzione (§. 519). Ma l'uso di questa specie di malta semplice sembra che sia cessato per ogni dove da tempo immemorabile. Nella moderna architettura l'unica malta semplice, di cui è generale l'uso, si è il gesso; il quale era pur anche noto agli antichi, come si raccoglie da alcuni passi di Vitruvio (1), e di Plinio (2). Ci fermeremo pertanto a dichiarare ciò che principalmente importa intorno alle qualità naturali, alla preparazione, ed all'uso di questo materiale.

§. 527. Il gesso, o vogliam dire la pietra da gesso, è un solfato di calce, che trovasi in natura sotto vari aspetti, ordinariamente mescolato con qualche più o meno quantità di carbonato di calce. Prima di tutto la pietra vuol esser cotta, o calcinata in opposite fornaci. L'azione del fuoco nel calcinare la pietra espelle dal solfato l'acqua di

---

(1) Lib. VII cap. III.
(2) Lib. XXXV cap. XII; e lib. XXXVI cap. XXIV.

cristallizzazione, e dal carbonato l'acido carbonico: laonde il gesso calcinato altro non è, che un miscuglio di calce solfatica rimasta priva dell'acqua di cristallizzazione, e di *calcina viva*, vale a dire di calce carbonatica che ha perduto nella calcinazione tutto, o quasi tutto l'acido carbonico. Per la perfetta calcinazione del gesso si richiede da prima un fuoco moderato, e quindi un fuoco più intenso, il quale continuato per 24 ore basta ordinariamente a cuocere completamente la pietra. Dopo la calcinazione la pietra va ridotta in polvere, al quale effetto suol'essere infranta per mezzo di mazzapicchi o di pistelli adoperati a mano, ovvero tenuti in movimento con opportuni artifizi meccanici. Il gesso così calcinato e polverizzato si converte in malta, impastandolo con una giusta quantità d'acqua. Per le muratnre ordinarie si richiede un volume d'acqua all'incirca uguale a quello del gesso. Quando la malta è destinata a servire in qualità di stucco per la formazione di cornici, o d'altre modanature, è necessario che sia più sciolta; e vuol esser anche maggiormente liquida se dev'essere adoperata per qualche intonaco.

§. 528. La malta di gesso offre nell'uso diversi fenomeni, i quali importa di conoscere, ond'essere al caso di saper adoperare la malta stessa con profitto, e con sicurezza di buona riuscita. 1°. Il gesso perde ogni virtù se non viene adoperato al più presto dopo la calcinazione. Perciò ove le cave del gesso sono lontane, si fa venire nello stato naturale, e non si cuoce se non che quando, e di mano in mano, che occorre di metterlo in opera. 2°. La malta di gesso, se non si adopera appena sciolta ed impastata con l'acqua, indurisce, e diviene inutile; laonde non dev'esser preparata che a poco per volta, all'atto di metterla in opera. 3°. Il gesso, tutt'al contrario delle malte composte, quand'è messo in opera, nell'assodarsi si dilata. Questo gonfiamento arriva a tal segno, che se le muraglie, murate semplicemente in gesso, non venissero premunite con avvedutezza, potrebbero trovarsi esposte a qualche pericoloso movimento. 4°. La malta di gesso ne' luoghi umidi ben presto marcisce, si sfalda, e si sfarina. Egli è questo il motivo pel quale ne è proscritto generalmente l'uso in tutte le costruzioni idrauliche. 5°. La stessa malta fa poca o niuna presa sul legname; e perciò i legni sogliono esser guarniti di chiodi all'intorno, allorchè debbono essere murati o rivestiti di gesso. 6°. Il gesso stemperato con latte di calce, o meglio ancora con acqua di colla forte, somministra una malta capace di produrre uno stucco di molta consistenza, e riducibile ad un bel polimento.

§. 529. Trovasi nell'Inghilterra intorno alle miniere del rame una pietra siliceo-calcaria, la quale calcinata, ridotta in polvere, ed impastata con l'acqua, produce, senza miscuglio d'alcun'altra materia, una

malta eccellente, sopra tutto per la sua facoltà di prendere sollecita consistenza entro l'acqua. Questa sostanza vien trasmessa dall'Inghilterra nelle Indie, ove se ne fa grand'uso. Finora non è stata trovata in alcun'altra parte d'Europa, fuorchè a Boulogne nella Francia, ove se ne rinvengono de' piccoli frammenti sparsi sulla riva del mare. Non occorre che ci tratteghiamo intorno ad un materiale così raro, e di cui è a noi affatto estraneo l'uso. Se taluno amasse di conoscerne i caratteri e le proprietà, potrà averne notizia dalle relazioni d'alcune indagini ed esperienze della società d'agricoltura di Boulogne (1), delle quali trovasi anche un transunto nell'opera dello Sganzin (2).

§. 530. La principale sostanza costitutiva di tutte le malte composte, è la calcina, vale a dire il prodotto della calcinazione della pietra calcaria, o sia calce carbonatica de' mineralogisti. L'azione del fuoco toglie alla pietra l'acqua di cristallizzazione, e buona parte dell'acido carbonico. La pietra così calcinata dicesi *calcina viva*. Ma questa contiene ancora un residuo d'acido carbonico, il quale vien espulso mediante quella seconda operazione, che dicesi *estinzione* della calcina, e si eseguisce ordinariamente versando molt' acqua sulla pietra calcinata. Dopo questa seconda operazione la calcina dicesi *spenta* o *smorzata*, ed anche calcina in *pasta*. La bontà della calcina, vale a dire la disposizione di essa a formar buone malte, dipende dalla qualità della pietra calcaria, e dalla condotta regolare delle due operazioni testè enunciate, cioè la calcinazione, e l'estinzione.

§. 531. La pietra calcaria è abbondantissima in natura; e si presume che costituisca non meno d'un'ottava parte della crosta esteriore del globo terrestre. Se ne distinguono moltissime specie e varietà, le quali offrono il carbonato di calce più o meno puro; quantunque in istato di reale purezza questo non si trovi che assai di rado, ma per lo più commisto accidentalmente a materie straniere. La forma primitiva del carbonato di calce puro è la romboidale; e secondo l'analisi de'chimici suol esso esser composto di 0,64 di calce, 0,33 d'acido carbonico, e 0,03 d'acqua. Le sostanze, a cui va ordinariamente unito il carbonato di calce nella pietra calcaria, sono l'allumina, la silice, la magnesia, la calce solfatica, e gli ossidi di ferro e di manganese. Le pietre, che contengono dell'allumina e della magnesia, sono le meno adattate a produrre buona calcina. All'opposto quelle, in cui trovasi qualche quantità di silice

---

(1) *Journal des mines*. Tom. XII.
(2) *Programmes ec.* Lez. V.

somministrano le calcine migliori. La presenza degli ossidi di manganese e di ferro contribuisce a infondere nella pietra la facoltà di produrre le così dette calcine *magre*, delle quali spiegheremo fra poco le caratteristiche proprietà.

§. 532. La pietra calcaria si cuoce, o vogliam dire si calcina, entro apposite fornaci, che comunemente diconsi anche *calcare*. In tale operazione tutte le cure debbono esser dirette ad ottenere la perfetta calcinazione della pietra, nel più ristretto intervallo di tempo, e col minor possibile consumo di combustibile. Si pretende che per questo doppio scopo la forma più vantaggiosa d'un forno calcinatorio sia quella d'una semiellissoide a base circolare. Nella parte più centrale della fornace si collocano le pietre più dure, e le più voluminose; e si dispongono poi di mano in mano nelle parti più eccentriche i sassi più minuti, e di pietra meno dura. La pietra nel calcinarsi va gradatamente scemando di gravità specifica, e cangiando di colore. Alla prima assume una tinta cupa, la quale passa dal nero, al bigio, al turchinastro o al verdastro, e termina col divenire bianca, o gialla. Quando si vede che la pietra si è schiarita, e si conosce che ha perduto la metà circa del suo peso primitivo, si può arguire che la calcinazione è arrivata a giusto grado. Ma il contrassegno sicuro della perfetta calcinazione consiste nel veder sorgere sulla fornace un cono di fiamma viva, non offuscata da mescolanza di fumo. Ordinariamente si richiedono per la calcinazione della pietra cent'ore almeno d'un fuoco intenso, e continuato.

§. 533. La calcina viva comunemente si smorza entro una fossa, ovvero entro una vasca che dicesi *mortaio*, e più comunemente *calcinaio*; ove dopo di avervi posta la pietra calcinata, vi si versa sopra una giusta quantità d'acqua. Nel ricever l'acqua la calcina scoppia, e si gonfia, stridendo e crepitando, e mandando fuori una quantità di vapore cocente, e caustico; e quindi si scioglie formando una pasta densa e glutinosa. Quelle calcine che sono cotte a giusto grado fanno effervescenza, si lievitano, e si sciolgono senza indugio; ma quelle che non sono bastantemente cotte non giungono a perfetta estinzione, se non che passate alcune ore, e talvolta uno e perfino due giorni dopo il versamento dell'acqua; e perciò diconsi calcine *pigre*. Per l'estinzione debbonsi preferire l'acque più pure, poichè l'acque torbide e fangose fanno degenerare la calcina; siccome pure l'acque di pozzo o di sorgente, quando contengono dei sali, o altri principii eterogenei. Generalmente si deve anche escludere l'acqua del mare; quantunque si pretende che quest'ultima possa adoperarsi senza pregiudizio per l'estinzione di qualche specie particolare di calcina. Importa che l'acqua venga versata in quantità proporzionata a quella della calcina, mentre se l'acqua è troppo scarsa,

l'estinzione non riesce perfetta, e se soverchiamente abbondante snerva la calcina, e ne scema la bontà. La giusta dose dell'acqua non è la stessa per tutte le qualità di calcina. Per alcune specie si ottiene la completa estinzione con una quantità d'acqua di peso non maggiore di quello della pietra calcinata; per altre specie più restie all'estinzione abbisogna un peso d'acqua uguale perfino a 3,60 di quello della calcina viva, che vuolsi spegnere. Fra questi due limiti l'esperienza sola può mostrare qual sia il giusto rapporto fra la quantità dell'acqua e quello della calcina viva, a cui si debba attenere, secondo le diverse qualità della pietra. In generale non può prescriversi se non che di versar alla prima sulla calcina una quantità d'acqua a discrezione piuttosto con parsimonia; di aspettare quindi che sia cessata l'effervescenza, e che la massa siasi raffreddata; e di aggiugnere dopo, qualora si conosca necessario, nuova quantità d'acqua a poco a poco, finchè si ravvisi che la pasta abbia acquistato un giusto grado ed uniforme di densità. Secondo il risultato medio di varie sperienze la calcina di Monticelli, che è la più stimata, ed insieme la più usitata in Roma, in una regolare estinzione suole assorbire per ogni metro cubo del proprio volume, il di cui peso è di chilog. 1050, metri cubi 3,166, vale a dire chilog. 3166 d'acqua. Il volume della calcina cresce nell'estinzione più o meno, secondo le varie qualità della pietra, e giugne tal volta perfino a divenir triplo del volume primitivo. La prefata calcina di Monticelli, per quanto si è potuto raccogliere dall'esperienza, somministra m. c. 2,357 di pasta ben lievitata per ogni metro cubo di pietra cotta sottomessa all'estinzione.

§. 534. Per l'estinzione della calcina sogliono prepararsi due fosse o due vasche, una delle quali alquanto più elevata dell'altra. Si ripone la pietra calcinata nel recipiente più alto, ed ivi si smorza, con versarvi sopra la necessaria quantità d'acqua, e col maneggiare intanto l'ammasso e la pasta, che si viene sciogliendo, con zappe a lungo manico, fatte a bella posta. Allorchè si scorge che la pasta ha preso un giusto grado di consistenza, e di viscosità, si fa colare nel recipiente più basso per un canaletto, o per un pertugio di comunicazione, al quale è applicata una ramata, affinchè precluda l'adito ai corpi eterogenei, che potessero trovarsi commisti alla calcina, e a quei frammenti di pietra calcarea i quali fossero o non abbastanza calcinati, o non perfettamente smorzati. Il basso recipiente è propriamente destinato a servire di serbatoio alla pasta, la quale, tosto che si è convenientemente assodata, si ricopre con un strato di sabbia dell'altezza di 50 a 60 centimetri, e si lascia ivi in deposito, per valersene all'occorrenza. In generale la calcina può essere adoperata per la composizione delle malte tosto che è spenta; ma per altro quanto più a lungo rimane a macerarsi nel calcinaio tanto più

si purga, e si affina. E se dobbiam credere a Plinio (1) le più antiche leggi edilizie proibivano che la calcina venisse adoperata, se non erano passati tre anni dalla sua estinzione. Ma Vitruvio (2), ed i moderni architetti si limitano a prescrivere, che debba la calcina lasciarsi macerare per lungo tempo, allorchè è destinata per malte da intonaco, affinchè abbiano campo di lievitarsi quelle minute glebe di pietra calcinata, le quali nella prima preparazione fossero rimaste o poco cotte, o non bene smorzate; e che produrrebbero, se la calcina si adoperasse spenta di fresco, delle irregolarità nelle superficie degl'intonachi, e potrebbero anche generarvi col progresso del tempo degli screpoli, e delle pustule.

Pretendono alcuni che possa esser utile d'eseguire l'estinzione della calcina nella maniera insegnata da Filiberto de Lorme, la quale tende a togliere la pietra calcinata che si vuole smorzare dal contatto dell'aria, stendendovi sopra entro la fossa uno strato di sabbia della grossezza di circa m. 0,60, e inaffiando quindi questo strato in più volte con sufficiente quantità d'acqua. In questo caso inculcano, che sieno chiuse prontamente le fenditure, che si vengono aprendo nell'arena all'atto dell'effervescenza della sottoposta calcina, a fine di mantener sempre chiuso l'adito all'aria, e d'impedire l'esalazione de' vapori, che si sprigionano nella stessa effervescenza, (§. 533), i quali si suppone che contengano de' principii favorevoli alla buona riuscita delle malte.

§. 535. Oltre la pratica ordinaria d'estingnere la calcina *per aspersione* di cui abbiamo ora parlato, havvi un altro metodo così detto per immersione, e conosciuto anche sotto il nome di metodo del de Lafaye, da quello del suo inventore, che lo promulgò in Francia, fino dall'anno 1777. Ridotta la pietra calcinata in piccioli pezzi della grossezza d'un uovo, o piuttosto d'una noce (3), se ne riempie un canestro, e questo s'immerge nell'acqua, vi si tiene per alcuni minuti secondi, e si estrae prima che la calcina si sciolga. La calcina, producendo nell'effervescenza i soliti fenomeni, si converte in polvere, e questa polvere, costituisce appunto la calcina spenta per immersione. Può conservarsi per lungo tempo in questo stato, purchè si abbia cura di riporla entro tini, o altri opportuni recipienti, ben difesa dall'umido. Essa non è più soggetta a riscaldarsi o a far nuova effervescenza, allorchè si scioglie nell'acqua per adoperarla nella composizione delle malte. Estinguendo in questa guisa la calcina, essa assorbe fra chilog. 0,18, e chilog. 0,35 d'acqua per

(1) Lib. XXXVI cap. XXIII.
(2) Lib. VII cap. II.
(3) Vicat-*Recherches expérimentales sur les chaux de construction* ec. Sez. I cap. IV.

ciascun chilogrammo di pietra calcinata; con questa particolarità, che prendono in questo modo meno acqua quelle calcine, che col metodo ordinario ne richiedono una maggior quantità; e viceversa. Il prenominato Lafaye fantasticamente interpretando alcuni passi di Vitruvio, si era dato a credere che il suo metodo fosse noto agli antichi, e che ad esso dovesse attribuirsi quell'eccellenza delle loro malte, di cui fanno fede i ruderi de vetusti monumenti. I risultati dell'esperienze, tentate per conoscere se sussistessero realmente nella calcina spenta per immersione i pregi attribuiti ad essa dall'inventore del metodo, furono per lungo tempo discordi, finchè l'interessanti sperienze dell'ingegnere francese Vicat sembra che abbiano alfine spiegato cotale discordanza, e palesato i veri termini della convenienza del metodo stesso, come fra poco si farà conoscere.

§. 536. Nei predetti due modi si ottiene artificialmente l'estinzione della calcina. Ma questa può anche spegnersi spontaneamente, cioè senza l'opera dell'arte, solo che si lasci la calcina viva esposta all'aria per qualche tempo. La pietra calcinata, assorbendo l'umidità atmosferica, si riscalda leggermente, senza fare una sensibile effervescenza, ed in più o men breve tempo, secondo la condizione più o meno umida dell'aria, si riduce in polvere finissima. In questa trasformazione il peso della materia, suol crescere di circa due quinti del primitivo; ed il suo volume si aumenta nella ragione di uno ad 1,75, e perfino a 2,55. Per lo passato si era creduto che la calcina, spegnendosi spontaneamente all'aria, perdesse la virtù necessaria per la produzione di buone malte; onde nei libri d'architettura s'inculcava che la calcina dovesse essere sottomessa all'artificiale estinzione senza ritardo, appena estratta dalla fornace calcinatoria (1). Ma vedremo in breve che la generalità di cotesta opinione è rimasta smentita dall'esperienze del prefato ingegnere francese, dalle quali anzi si deduce, che per alcune specie di calcina l'estinzione spontanea dispone la sostanza, meglio che l'estinzione artificiale, a produrre malte di buona presa.

§. 537. Generalmente le calcine sono distinte dai costruttori in due specie; le calcine *grasse*, e le calcine *magre*. Grasse diconsi quelle che assorbiscono molt'acqua, e crescono assai di volume nell'estinzione eseguita col metodo ordinario (§. 534): magre quelle che si estinguono con poca quantità d'acqua, e che nella fusione crescono ben poco, essendovene di quelle che, convertite in pasta, offrono un volume maggiore non più

(1) Belidor. *La science des Ingenieurs*. Lib. III cap. III.
Milizia. *Principii d'architettura*. Parte III lib. I cap. III.

d'un quinto del primitivo. Si crede comunemente che le calcine grasse abbiano la proprietà di produrre una malta più tenace di quella, che risulta dalle calcine magre, sempre che le due malte sieno formate con una medesima proporzione fra la calcina e l'arena, o qualunque siasi altra sostanza componente. Da un'altra parte alle sole calcine magre appartiene ordinariamente la facoltà di produrre delle malte capaci d'assodarsi prontamente entro l'acqua; per la quale prerogativa era piaciuto ai moderni costruttori di dare anche a questa sorta di calcine la denominazione di calcine *idrauliche*. Ma siccome la stessa prerogativa non è essenzialmente comune a tutte le calcine magre, ed altronde costituisce essa un distintivo sommamente interessante nelle calcine, che la posseggono, così cadde giustamente in pensiero al Vicat (1) di formare di queste calcine una classe distinta, e di comprendere tutte l'altre in una sola classe, chiamandole calcine *comuni*. Riconosce desso per calcine idrauliche quelle, le quali avendo provato a giusto grado l'azione del fuoco, sono capaci d'assodarsi in breve tempo entro l'acqua, senza il concorso d'alcun'altra materia estranea. Tutte l'altre calcine non dotate dell'anzidetta facoltà, sono riposte nella classe delle comuni. In generale poi si stabilisce che debbasi chiamare grassa la calcina, quando nell'estinzione assorbisce da chilog. 3,60 a chilog. 2,60 d'acqua per ciascun chilogrammo di pietra cotta; *media* se per ispegnerne la quantità d'un chilogrammo bastano da chilog. 2,60 a chilog. 2,30 d'acqua; finalmente magra, quando per estinguerla basta una quantità d'acqua fra chilog. 2,60, e chilog. 1,00 per ogni chilogrammo di calcina viva.

§. 538. Le calcine idrauliche, avverte l'accuratissimo scrittor francese, sono talvolta più o meno candide; ma per lo più hanno un color bigio di fango o di mattone crudo. Esse sono ordinariamente magre, ben rare volte di qualità media, e non mai di qualità grassa. Si danno per altro delle calcine, le quali quantunque del colore anzidetto, e magre, non sono tuttavia idrauliche. Per decidere dunque della qualità idraulica d'una calcina sarebbero mal sicuri indizi il colore, ed il risultato dell'estinzione, ed è forza di prender lume dall'esperienza. Per discoprire se qualche sorta di pietra calcarea sia per natura capace di somministrare una calcina idraulica, se ne potrà far calcinare una gleba ad un fuoco di fucina, e quindi, compiuta la calcinazione, si sottometterà la pietra cotta all'estinzione ordinaria, e si riporrà la pasta nel fondo

(1) *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons, et les mortiers ordinaires* -- Sez. I cap. I.

d'un vaso sotto una certa quantità d'acqua pura. Se in capo ad otto o al più quindici giorni la pasta si sarà assodata, a segno di resistere all'impressione delle dita, si arguirà che la calcina è di qualità idraulica. Ma se la pasta si conserverà molle dopo l'indicato lasso di tempo, si dovrà decidere che la calcina non è idraulica, ma bensì della classe delle comuni.

§. 539. Da alcune concludenti prove di fatto (1) è stata dimostrata l'insussistenza della pretesa generale superiorità delle calcine grasse, quanto all'efficacia di produrre malte più tenaci che le magre, posta l'uniformità delle proporzioni fra la quantità della calcina, e quella dell'arena (§. 537.) essendosi osservato che una malta di calcina grassa, mescolata in qualunque proporzione con l'arena, non giugne mai ad avere più che due terzi della resistenza d'un altra malta di due parti di calcina magra e d'una d'arena. Ma la proprietà, che costituisce il carattere essenziale delle calcine idrauliche, rende queste sommamente importanti, a preferenza delle comuni, nelle costruzioni marittime, o fluviatili; ed in generale in tutte quell'opere, in cui le masse murali debbono trovarsi immediatamente a contatto dell'acqua, fino dai primi periodi della loro costruzione. Per lo che alcuni valenti chimici, adoperatisi ad indagare la causa della virtù caratteristica delle calcine idrauliche, si studiarono di stabilire qualche processo sintetico, per mezzo del quale potesse ottenersi una calcina artificiale, dotata della stessa virtù, e supplirsi così al difetto delle calcine idrauliche naturali, le quali abbondano assai meno delle comuni, e di cui molti paesi sono affatto sprovvisti. Dietro i risultati dell'analisi chimica d'alcune pietre calcaree, che producono calcine idrauliche, riconobbe il Guyton de Morveau (2) che può aversi una calcina idraulica artificiale mescolando insieme 90 parti di polvere di pietra calcarea comune, 4 parti d'argilla, e 6 parti d'ossido nero di manganese, e sottoponendo cotesto miscuglio ad una regolare calcinazione; ovvero mescolando con la calcina viva comune una certa quantità di miniera bianca di ferro, la quale è composta in gran parte di calce carbonatica manganesiata. Il primo di questi due processi, come sagacemente avverte il Vicat, riesce soverchiamente dispendioso in grazia e del costo dell'ossido di manganese, e della difficoltà di polverizzare la pietra calcarea. L'altro sarebbe invero più economico, poichè non esige nella pietra altro apparecchio, che l'ordinaria calcinazione; ma ben si vede come se ne renda limitato l'uso a quei soli paesi, nei quali trovasi la miniera bianca di ferro.

---

(1) Ivi -- Sez. III cap. VI.
(2) *Annales de Chimie* -- Tomo XXXVII pag. 253.

§. 540. I lumi delle più moderne teorie della chimica, ed una numerosa serie di accortissime sperienze, hanno guidato, non sono molti anni, il Vicat all'interessantissima scoperta d'un espediente generalmente adattato per convertire qualunque calcina comune in calcina idraulica (1). L'operazione in cui consiste tale espediente non è che una vera sintesi, che tende a riunire intimamente, mediante l'azione del fuoco, quei medesimi principii costitutivi, dei quali, per mezzo dell'analisi chimiche, si è conosciuto esser composte le calcine idrauliche naturali. Lasciata la calcina viva all'aria, in un luogo asciutto e coperto, finchè ne sia succeduta l'estinzione spontanea, è d'uopo d'impastarla mediante un poco d'acqua, con una certa quantità d'argilla bigia o bruna, ovvero con della semplice terra da mattoni, e di formare con la pasta ottenuta delle palle. Queste, cotte in un forno ad un giusto grado di calore, dopo di averle fatte prima asciuttare, somministrano una calcina fattizia, la quale ha tutta l'energia, e talvolta più ancora delle migliori calcine idrauliche naturali. La preparazione, con cui la calcina va mescolata all'argilla nell'impasto, è varia secondo le qualità diverse della calcina comune, che si vuol convertire in calcina idraulica. Se la calcina è di qualità grassa può comportare fino ad un venti, per quelle di qualità media basta il quindici; e per le magre è sufficiente il dieci e talvolta anche il sei d'argilla per cento di calcina viva. Accrescendo l'argilla fino al 33 o al 40 per cento di calcina, il prodotto non lievita, ma si riduce facilmente in polvere, ed allorchè viene stemperato, forma una pasta capace di prendere consistenza appena immersa nell'acqua. Chi mescolasse dell'argilla separatamente cotta con la calcina comune spenta, piuttosto che sottomettere il miscuglio, come si è detto, all'azione del fuoco, non otterrebbe un egual effetto; e l'esperienza ha positivamente dimostrato che l'azione del fuoco è appunto quella, che penetrando le sostanze commiste, ne combina i principii, e desta nel nuovo composto quella facoltà, che costituisce lo scopo essenziale dell'operazione. La calcina non è già strettamente necessario che sia spenta spontaneamente, ma potrebbe essere estinta con altro metodo; e solo si suggerisce a preferenza l'estinzione spontanea perchè è dell'altre più economica. Le qualità diverse dell'argilla debbono pur dare qualche regola, per modificare opportunamente i già indicati rapporti fra la quantità di essa, e quella della calcina nella formazione del miscuglio.

Tale è il metodo semplicissimo sperimentato e proposto dal Vicat: approvato e commendato dall'accademia reale delle scienze, e dal consiglio

---

(1) *Recherches sur les chaux* ec. Sez. I cap. I.

generale de' ponti e strade del regno di Francia. Costituisce desso una scoperta di grand' utilità nell' arte delle costruzioni, poichè somministra un espediente adattato ad ottenere delle malte capaci di far pronta presa nell' acqua, ovunque si manchi di calcine idrauliche naturali, e di pozzolane, o altre sostanze, più o meno efficaci ad infondere nelle malte cotesta interessante prerogativa.

§. 541. Dietro la premessa distinzione delle calcine in comuni ed idrauliche siamo ora al caso di riferire alcune interessanti scoperte del Vicat, che facemmo già presentire (§. 535, 536), intorno all' utilità rispettiva delle tre diverse maniere d'estinzione. Dal confronto dei risultati di molte e molte sperienze potè desso inferire, che, avuto riguardo al maggiore o minore indurimento delle malte, alle calcine comuni grasse, medie, e magre giova primieramente l'estinzione spontanea (§. 536), in secondo grado l'estinzione per immersione (§. 535), ed in grado infimo il metodo ordinario, o sia per aspersione (§. 533, 534). Ma cotesta graduatoria superiorità, come da una parte si rende tanto più notabile quanto più le calcine sono di qualità grassa, così da un' altra parte diminuisce di mano in mano che le calcine sono meno grasse, medie, o più magre; in guisa che per alcune qualità, che più si accostano all'idrauliche, svanisce ogni differenza, ed uguali effetti si hanno indistintamente coi tre diversi modi d' estinzione. Quando poi si tratta di calcine idrauliche, invertendosi l' ordine di precedenza, si rende in primo luogo vantaggioso il metodo ordinario, secondariamente l' estinzione per immersione, e per ultimo l' estinzione spontanea. Il modo d' estinguere la calcina giunge a contribuire a tal segno all' indurimento delle malte, che per quanto osservò il Vicat, può in alcuni casi perfino sestuplicarne l'effetto. Inoltre un fenomeno, che merita particolare attenzione, si è che le calcine comuni, e segnatamente le grasse, tenute per lungo tempo all' aria, in luogo coperto, e riparato dal vento, divengono ad un certo grado dotate della facoltà idraulica. Non si conoscono invero i limiti del tempo necessario, affinchè le varie specie di calcine, per l'influenza atmosferica, acquistino a questo riguardo tutto quel miglioramento di cui sono capaci; ma certo si è che alcune calcine grasse, dopo di essere state per un anno esposte all' aria, sono riuscite assai migliori, di quello che apparvero venendo impiegate, appena che per l'estinzione spontanea si erano completamente ridotte in polvere. È pure da notarsi, che alcune anomalie osservate nei risultati delle sperienze, hanno dato giustamente motivo di sospettare, che l' addotta legge di precedenza graduatoria de' tre metodi d' estinzione abbia ad essere modificata, a seconda delle varie indoli naturali delle sostanze da mescolarsi alla calcina nella composizione

delle malte (1). Aspetteremo che nuove sperienze spargano maggior lume sopra questi vari punti; e ci lusinghiamo che gl'indefessi studi del più volte encomiato Vicat lo avranno ben presto condotto a questa meta; e che la chimica e l'architettura andranno così a lui pienamente debitrici della vera e completa teoria delle calcine e delle malte, e delle più sicure norme pei buoni effetti delle medesime nell'arte delle costruzioni.

§. 542. Il costituente essenziale di tutte le malte composte è, come già fu detto (§. 530), la calcina, la quale per altro non acquista la necessaria tenacità, se non che pel suo impasto con l'arena, o con altre sostanze naturali ovvero artefatte, delle quali ci faremo ora a parlare. Dicesi arena ed anche sabbia qualunque ammasso di molecole lapidee, di volume così tenue, e così sciolte, che facilmente possono essere trascinate dall'acque, e sollevate dal vento. I naturalisti distinguono l'arene in silicee, calcaree, argillose, e metalliche, a seconda della natura delle molecole lapidee, di cui sono composte. Ordinariamente però nelle vere sabbie predominano i grani silicei e metallici, perchè i frammenti calcarei e argillosi riduconsi troppo facilmente, per la maggior loro fragilità, dalla condizione di sabbia a quella di polvere tenuissima. I costruttori distinguono primieramente le sabbie in fossili, fluviatili, e marittime. Le prime si estraggono qua e là dalle viscere della terra, le seconde si trovano negli alvei de' fiumi, e dei fossi, le terze alle spiagge del mare. Le distinguono inoltre relativamente alla grossezza delle molecole, in sabbione o sia arena grossa, e in sabbia ovvero arena fina

§. 543. Vitruvio (2), e dopo di lui gl'italiani scrittori d'architettura, insegnarono che per la composizione delle malte l'arena migliore è la fossile: ma il Belidor (3) ed altri moderni francesi all'opposto hanno preteso, che sia da preferirsi l'arena fluviatile. Quantunque sia giustamente da credersi che la bontà dell'arena non dipenda essenzialmente dai luoghi, d'onde si trae, ma bensì dalla natura delle sostanze costituenti; che mal sicuro indizio se ne possa desumere dal colore; e che possa pure in fatto diversamente farsi conoscere, secondo le varie qualità della calcina, a cui una medesima specie d'arena venga commista, ed a norma delle varie influenze a cui la malta può trovarsi soggetta e per la natura delle pietre di cui si deve trovare a contatto, e dei

(1) V. la precitata opera di Vicat - Sez. II cap. IV, e sez. III cap. V.
(2) Lib. II cap. IV.
(3) *La science des ingenieurs* - Lib. III cap. IV.

vari agenti e dalle fisiche vicende, da cui si può trovar dominata, nelle diverse situazioni ed esposizioni delle masse murali: tuttavia in generale a questo proposito si stabiliscono alcune massime importanti in conformità dei più costanti e più positivi risultati dell'osservazioni, e delle più recenti esperienze (1).

1. L'arena fossile produce una malta più pronta a solidificarsi, e capace d'acquistare maggior durezza dell'arena fluviatile, qualora l'una e l'altra vengano mescolate in una medesima proporzione con una stessa specie di calcina comune;

2. L'arena naturale, e fresca di cava, produce una malta di miglior qualità di quella che si ottiene con la stess'arena lavata, e lasciata quindi esposta al sole per qualche tempo ad asciuttarsi.

3. Con l'arena silicea si ottiene una malta men dura e più lenta ad asciugarsi di quello che con una specie d'arena meno pura; quando però la calcina sia di qualità grassa.

4. Ma con le calcine idrauliche l'arena silicea pura produce ottime malte; laonde sembra che l'arene fluviatili, ordinariamente più pure delle fossili, sieno di queste più adattate per la composizione delle malte di calcine idrauliche.

5. Quanto all'influenza della maggiore o minor minutezza dell'arena si può stabilire, dietro i risultati delle sperienze di Vicat 1°. che con le calcine idrauliche più energiche fanno miglior lega le sabbie fine, che le sabbie miste di grani grossi e minuti; che le meno confacenti sono le arene grosse: 2°. che alle calcine mediocremente idrauliche si addicono più dell'altre le arene miste, mediocremente le sabbie fine, ed in grado infimo il sabbione: 3°. finalmente che per le calcine comuni più o meno grasse il sabbione è più efficace dell'arena mista, e l'infime sono le sabbie fine. Dal confronto d'alcune sagaci osservazioni addotte dallo stesso Vicat si potrebbe forse trar motivo di sospettare, che cotesta distinzione intorno alla convenienza dell'arene più o meno minute, secondo le diverse qualità della calcina, non fosse isfuggita agli antichi costruttori romani. Le teorie della chimica offrono acconcia spiegazione dei vari effetti, sui quali è fondata la predetta distinzione.

6. Ordinariamente sono migliori per la composizione delle malte quell'arene, che hanno un colore più cupo. Tuttavia ve ne ha ancora di

(1) Rondelet · *Art de bâtir* · Lib. II sez. II artic. II. Vicat - *Recherches ec.* · Sez. III cap. II, e III.

quelle, che sono stupende quantunque di color chiaro, e trovansene talora alcune specie, che riescono pessime sebbene di color molto cupo.

7. Le arene di mare sono generalmente riprovate, atteso che rendono le malte troppo lente ad asciugarsi, e molto più perchè il principio salino, di cui esse sono imbevute, emanato dai muri costrutti con tali malte, ne altera e ne dissolve gl' intonachi. Tuttavia in alcune spiagge di mare trovasi dell' arena atta a produr buone malte, quanto l'arena fossile, siccome per esempio accade, a quanto si racconta, nelle vicinanze di Salerno. E se la necessità costringe talvolta a far uso dell' arena di mare, giova e non deve tralasciarsi di correggerne, o almeno di mitigarne l'indole cattiva, con lavarla prima ben bene nell' acqua dolce.

§. 544. Diconsi sabbie impure o terrose quelle che contengono molta terra; e sono contrarie alla buona riuscita delle malte. I segni dai quali si può conoscere la purezza dell' arena sono i seguenti. 1°. Se stride quando viene maneggiata. 2°. Se non si attacca alle mani, e non le imbratta. 3°. Se gittata sopra un panno bianco, e quindi scossa non vi lascia macchia. 4°. Se versata nell' acqua precipita al fondo senza intorbidarla. 5°. Se stando esposta per qualche tempo all' aria aperta non produce erbe.

Spesso avviene che l' arena trovasi nelle cave, o ne' torrenti mescolata più o meno con ghiaia, o con sassi. In tali casi è d'uopo di depurarla, il che si ottiene facendola passare per un vaglio o per una ramata. Quest' operazione è necessaria anche per l' altre sostanze, che si adoperano talvolta in vece dell' arena o insieme con essa, nella composizione delle malte, quando contengono dei sassi, ovvero delle glebe della stessa materia troppo grosse per potersi sciogliere nell'impasto della malta.

§. 545. La pozzolana è una materia vulcanica terrosa, celebre per la sua virtù di formar con la calcina eccellenti malte, capaci di far pronta e solidissima presa nell' acqua. Di quest' utilissima sostanza sono copiosissimi i depositi naturali in quella parte dell' Italia, che fra gli Appennini e il mar Tirreno si estende da Napoli al confine meridionale della Toscana con lo stato romano; ove comunemente si adopera per la composizione delle malte in tutte le costruzioni murali, e d' onde si trasmette alle più remote piagge dell' Europa per l' occorrenze delle grandi costruzioni idrauliche, nelle quali niun' altra materia naturale o artificiale, che si conosca, vale ad equipararne i mirabili e sicuri effetti. Trovasi anche della pozzolana in diverse parti della Francia; come pure nelle vicinanze d' Andernach, piccola città degli stati prussiani nel basso Reno, trovasene una specie conosciuta sotto il nome di sasso

d' Andernach, il quale ridotto in polvere si adopera dagli olandesi nella costruzione delle loro dighe, e se ne fa da essi gran traffico con la Francia, con l' Inghilterra, e coi paesi del Nord. I naturalisti ravvisano nella pozzolana una specie d' argilla ferruggiuosa, modificata dall' azione violenta de' fuochi vulcanici, e proveniente dallo scioglimento delle lave porose, ed anche delle lave dure. Le analisi chimiche di varie specie di pozzolane dell' Italia e della Francia, hanno dato a conoscere che in generale queste sostanze contengono per un risultato medio 40 parti d' allumina, 35 di silice, 5 di calce, e 20 d' ossido di ferro. Si distinguono molte varietà di pozzolane, di colori diversi, cioè nere, brune, violacee, rosse, bige, gialle, e bianche. Questa diversità di colori deriva dai diversi gradi d' ossidazione del ferro contenuto. Le pozzolane sono ordinariamente un miscuglio minutissimo di molecole, e di piccole glebe scoriacee chiamate volgarmente *grètoni*. La gravità specifica è varia in esse, a seconda del maggiore o minor grado di calcinazione a cui sono ridotte; e delle varie proporzioni de' principii costituenti. La pozzolana più eccellente è quella che si cava nelle adiacenze di Roma: essa è di un colore rosso bruno, ed ha il peso specifico di 1232. Quella di Napoli è più pesante, ed è assai meno efficace della nostra nei muramenti sott' acqua.

§. 546. Poichè la pozzolana diviene eccessivamente costosa in tutti quei paesi, che sono molto distanti dai luoghi ov'essa si cava, sogliono qua e là sostituirsi alla medesima, per la composizione delle malte, varie sostanze artificialmente apparecchiate, le quali valgono, più imperfettamente sì, ma pure in qualche grado, a comunicare alle malte stesse la facoltà d' assodarsi prontamente nell' acqua. Coteste varie sostanze, che per l' annunciata virtù sono succedanee della pozzolana naturale, vengono dai costruttori abbracciate sotto la generale denominazione di *pozzolane artificiali*. Tali sono le polveri di mattone e d' altri materiali, o di stoviglie di argilla cotta, il basalte cotto e polverizzato, gli schisti calcinati e ridotti in polvere, la polvere di pietra pomice, le ceneri del carbon fossile adoperato nelle fornaci da calcina. Stimiamo inutile di fermarci a parlare distintamente di queste varie materie, l'uso delle quali è a noi affatto estraneo, poichè possediamo, si può dire nel centro dell' Italia, le miniere della vera pozzolana, e possiamo quindi valerci con discreta spesa di questo prezioso materiale, ovunque ci fa d'uopo per le nostre costruzioni marittime e fluviatili. Chiunque fosse vago d' averne notizie, potrà trovarle in tutti gli oltremontani moderni scrittori di costruzione. In generale si osserva che, in termini medi, le sostanze atte ad essere sostituite alle pozzolane naturali sogliono esser composte di 41 parti di allumina, 38 di

silice, 6 di calce, e 15 di ossido di ferro; contenendo talvolta alcune fra esse qualche piccola quantità di magnesia, e d'ossido di manganese. Il Vicat con un apparato di belle sperienze ha potuto dedurre i diversi gradi d'attività, di cui comparativamente vanno fornite le varie specie di pozzolane artificiali, secondo che hanno più ò meno provato l'azione del fuoco, e secondo le diverse qualità della calcina a cui si uniscono (1). Il Borgnis ne ha succintamente riassunti i risultati (2), che si potranno consultare all'occorrenza.

§. 547. Indipendentemente dallo scopo di rendere le malte capaci di prender sollecita consistenza nell'acqua, e con quello soltanto di avanzare le loro qualità nell'ordinarie costruzioni murali, si sono sperimentate diverse altre materie mescolate alla calcina spenta in vece dell'arena, ovvero in aggiunta di essa. Queste sono la polvere di mattone, o d'altri articoli di terra cotta, la pietra arenaria ridotta in polvere, la stessa pietra calcarea cruda polverizzata, finalmente la calcina viva in polvere. Le più accreditate sperienze hanno dimostrato 1°. che le polveri di mattone, ed in generale dell'argille cotte, formano insieme con la calcina malte più dure di quelle che risultano dalla mescolanza di calcina e d'arena: 2°. che la polvere di pietra arenaria rende le malte di cattiva qualità: 3°. che pietre calcarie polverizzate producono delle malte più o meno buone, secondo le qualità diverse della pietra stessa: 4°. finalmente che le malte composte di calcina spenta, d'arena, e di qualche poco di calcina viva, sono meno dotate di resistenza allo schiacciamento che qualunque altra specie di malta. Quest'ultima illazione ha pienamente smentito il preteso vantaggio di mettere nelle malte qualche quantità di calcina viva secondo il metodo inventato dal Loriot nel 1773, e commendato per un tempo da qualche scrittore (3), affidato alle semplici assertive dell'inventore stesso; ed ha quindi atterrato l'opinione introdottasi, che la singolare durezza dell'antiche malte romane potesse derivare dall'influenza della calcina viva, che supponevasi adoperata nella composizione delle malte stesse.

Quando si vuol far uso di polvere di mattone per la fabbricazione delle malte, generalmente si raccomanda che si scelgano mattoni di buona cottura, e che si preferiscano, quando si possa, le tegole, e meglio ancora le stoviglie, che per la loro sottigliezza sogliono essere meglio penetrate

---

(1) V. la più volte citata sua opera - *Sez.* II cap. I e II.
(2) *Traité de construction* - Lib. I cap. II.
(3) Milizia - *Principii d'architettura* - Tomo III Lib. I cap. V.

dall' azione del fuoco. Le polveri di mattoni malcotti si possono correggere con una nuova cottura, e tanto appunto fu praticato con buon successo, come ci vien riferito dallo Sganzin (1), nella costruzione del nuovo ponte d' Alessandria della Paglia. Per altro la convenienza di biscottar queste polveri non deve generalizzarsi, ma si deve ristringere soltanto al caso, in cui esse hanno ad essere unite a calcine idrauliche; poichè l' esperienze del Vicat (2) hanno dato a vedere che le polveri biscotte miste alle calcine grasse producono malte di minor forza di quelle, che risultano dal miscuglio delle stesse calcine con polveri non soggettate alla seconda cottura.

§. 548. Dopo di aver passato a rassegna i componenti, è tempo ora di parlare dell' effettiva composizione delle malte. Questa consiste nel mescolare insieme, ed impastare la calcina spenta con una, o con varie delle sostanze secondarie già enumerate, per ottenere una pasta, la quale frammista alle pietre, assolidandosi, e tenacemente attaccandosi ad esse, valga a produrre un composto indissolubile, ed infrangibile, quasi come se fosse tutt' un masso naturale di materia lapidea. La perfezione delle malte dipende (§. 525) primieramente dalle buone qualità naturali dei componenti, migliorata, se fia d'uopo, con gli opportuni apparecchi. Ma dipende essa anche non poco secondariamente dalla giusta proporzione, ed in terzo luogo dalla perfetta incorporazione dei componenti stessi.

§. 549. Per la scelta della calcina, e delle sostanze da mescolarsi ad essa nella composizione delle malte, non basta di aver riguardo a ciascuno de' componenti per le qualità assolute che ha in se stesso, ma importa altresì di por mente alle vicende, cui vanno soggette le stesse qualità, secondo che le sostanze si combinano diversamente fra loro, ed a norma delle particolari circostanze, in cui debbono essere adoperate le malte. Delle qualità assolute della calcina, e de' vari componenti secondari si è detto quanto basta; e così pure di alcune relazioni di maggiore o minore affinità fra qualche specie di calcina, ed alcune qualità d' arene, o d' altre sostanze destinate a farne le veci. Soggiugneremo semplicemente che le calcine idrauliche sono singolarmente adattate per la composizione delle malte da adoperarsi nelle costruzioni sott' acqua, e che, quando sono veramente energiche, fanno miglior effetto con la sabbia e con le pozzolane deboli, di quello che con le pozzolane di miglior qualità; e che viceversa per la composizione di malte idrauliche,

(1) *Programmes ec.* Lez. IV.
(2) *Recherches ec.* Sez. II cap. II.

la virtù delle quali debba dipendere dalla pozzolana, giova d'unire a questa, e tanto più quanto più è grande la sua energia, della calcina comune grassa che della magra, e della calcina debolmente idraulica; poichè risulta di più pronta presa la malta composta di calcina grassa, e di buona pozzolana, di quella formata di quest'ultima sostanza, mescolata ad una calcina magra, ed anche ad una calcina molto idraulica. Le calcine comuni possono convenientemente essere adoperate ovunque le malte non abbiano a trovarsi esposte immediatamente al contatto dell'acqua. L'uso del gesso deve poi generalmente evitarsi ovunque possa dominare la più leggera umidità (§. 528); mentre rendesi altronde non di rado utile ove si tratti di murature o d'intonachi, destinati ad esser esposti all'azione del fuoco, a cui le malte di gesso sono singolarmente disposte a resistere.

§. 550. Non è da presumersi di potere stabilire un rapporto costante fra la quantità della calcina, e quella dell'arena o altro componente secondario delle malte: ma per poco che si consideri si rimane facilmente persuasi che tale rapporto è forza che vari dipendentemente e dalle varie qualità de' componenti, e dagli usi diversi a cui le malte sono destinate. Le malte diconsi in pratica più o meno *grasse* a seconda che è maggiore o minore in esse la quantità della calcina in confronto di quella dell'arena, o di qualunque materia che ne tenga le veci. In generale che le calcine grasse comportino maggior quantità d'arena che le magre, non se ne può dubitare, non già intendendo che quando la calcina è grassa ne sia sufficiente una minor quantità di quella che abbisognerebbe se fosse magra, per produrre con la medesima quantità d'arena una malta d'ugual resistenza; poichè da' recenti sperienze, come già dicemmo, fu dimostrata la fallacia di tale opinione (§. 539); ma volendo intendere che con una calcina grassa si può mescolare una quantità d'arena perfino quasi al triplo della quantità della stessa calcina, senza che la resistenza della malta si renda gran fatto minore della massima fra le resistenze osservate nelle malte composte delle stesse due sostanze sotto varie proporzioni, come appunto apparisce dai risultati delle sperienze del Vicat (1); il che non accade con le calcine grasse, le quali, a sentimento di tutti i pratici, producono delle malte debolissime se l'arena si unisce ad esse in quantità non molto maggiore di quella, che forma con le medesime la malta più perfetta. Per conoscere

(1) V. i prospetti N.° XIX, XX, e XXI in fine della già citata sua opera.

qual sia il rapporto fra la quantità dell'arena, o della pozzolana, o d'altra qualunque sostanza secondaria, e quella della calcina, da cui risulti la malta più perfetta, e quale la massima dose d'arena che possa unirsi alla calce, senza render troppo tenue la resistenza della malta risultante, non vi è altro mezzo che quello di consultar l'esperienza. Noti che sieno il rapporto più vantaggioso alla resistenza, e la massima dose dell'arena conciliabile con una resistenza discreta della malta, si avrà una giusta norma per le proporzioni fra i componenti delle malte, da adottarsi convenientemente alle varie condizioni delle masse murali da costruirsi, e alle diverse qualità delle pietre da impiegarsi nella costruzione. Per le pietre naturali abbisognano malte tanto più grasse, quanto più quelle sono dure, e quanto meno sono porose. Ordinariamente i mattoni richiedono malte più grasse che le pietre naturali. Vogliono pure adoperarsi malte più grasse nella costruzione de' muri di poca grossezza, di quello che ne' muri assai massicci. Nei muri sotterranei possono adoperarsi malte meno grasse che nei muri sopra terra. Ove le masse murali son destinate a soggiacere a straordinarie pressioni verticali, o spinte laterali debbono adoperarsi malte grasse della maggior efficacia. Per lo strato esteriore degl'intonachi nelle superficie delle muraglie abbisognano malte ben grasse, ed apparecchiate con particolari cure, come diremo a luogo opportuno.

§. 551. Generalmente in Roma dagli odierni costruttori si stabiliscono presso a poco le seguenti proporzioni fra la calcina e la pozzolana nella composizione delle malte, secondo i vari usi a cui sono destinate. La convenienza di tali proporzioni sembra giustificata dalle prove d'una diuturna esperienza. Affinchè sia facile il confronto delle proporzioni stesse le esprimiamo adducendo i volumi rispettivi de' due componenti in centesime parti dell'aggregato de' volumi stessi, sebbene in effetto nell'impasto delle materie il volume della malta divenga generalmente, or più or meno, minore dell'aggregato numerico de' volumi delle sostanze commiste.

| *Malte per usi diversi* | *calcina* | *pozzolana* |
|---|---|---|
| 1. Pei muri di *pietrame* o sia pezzi di tufo vulcanico | 0,15 | 0,85 |
| 2. Pei muri di *tevolozza*, o sia frantumi di laterizi | 0,25 | 0,75 |
| 3. Pei muri di mattoni . . . . . . . | 0,30 | 0,70 |
| 4. Pei muri di mattoni *a cortina* rotati in costa | 0,45 | 0,55 |
| 5. Pei pavimenti mattonati . . . . . | 0,36 | 0,64 |
| 6. Per le selciate in malta (§. 124) . . . . | 0,22 | 0,78 |
| 7. Per gl' intonachi . . . . . . . | 0,40 | 0,60 |

§. 552. Per ottenere la perfetta incorporazione della calcina con l'arena, o altre sostanze ad essa unite nella composizione delle malte, è necessario che venga dimenato lungamente e con forza il miscuglio; il che si eseguisce con larghe zappe di ferro a lungo manico. Ed anzi dal solo rimescolamento così continuato quanto basti deve farsi dipendere la perfezione dell' impasto evitando per quanto è possibile d' aggiungere nuov' acqua, poichè l' esperienza ha dimostrato, che molli a sufficienza ed ottime riescono quelle malte, che nel rimescolarle non vengono diluite con alcuna benchè piccola addizione d' acqua; e che volendone aggiugnere per agevolare o per sollecitare l' impasto, la malta si snerva e deteriora. Quindi l' antico avvertimento de' maestri dell' arte, che le malte abbiano ad essere stemperate col sudor della fronte. Si riconosce che l' impasto della malta è perfetto, quando l' occhio non è più capace di distinguere l' una dall' altra le sostanze componenti. Se talvolta qualche porzione di malta si fosse di troppo ispessita, perchè siasi differito d' impiegarla dopo il suo impasto, si renderà molle di bel nuovo per poterla adoperare, confondendola e stemperandola con altra malta fresca, anzi che con semplice acqua. Vuolsi per altro avvertire che le malte meno grasse, o sia di ben poca calcina (§. 550), destinate per alcune costruzioni nelle quali ne può convenir l' uso, diverrebbero troppo dense se nel rimescolarle non venissero sciolte con qualche poco d' acqua, di cui tuttavia anche in questi casi si deve usare con parsimonia, e solo per quanto basta.

§. 553. Tutte le malte asciuttandosi in più o men breve tempo si attaccano fortemente alle pietre, ed acquistano esse pure l' aspetto e le qualità lapidee; onde non impropriamente si possono considerare le malte come pietre artefatte. E poichè debbono appunto come tali far parte delle masse murali, e debbono quindi necessariamente contribuire e soggiacere ai conati, che le masse esercitano l' une sull' altre, così è d'uopo, per norma delle statiche disquisizioni, di conoscere qual sia la gravità specifica delle malte solidificate, quanta la forza di esse considerata distintamente nel solito triplice aspetto della resistenza de' solidi, ed inoltre relativamente alla tenacità con cui si tengono attaccate alle pietre, cui vennero aggregate. Intorno a questi articoli non dovrebbe trascurarsi di prender lume, almeno ne' casi più gelosi, da apposite sperienze; poichè assai vari sono gli effetti secondo le qualità varie de' componenti delle malte, secondo le diverse condizioni dell' apparecchio e dell' impasto, secondo l' indoli particolari delle pietre, e dipendentemente anche dalle variabili circostanze, in cui le malte debbono essere impiegate. Gioverà in ogni modo di riferire i risultati d' alcune sperienze accreditate presso i più recenti scrittori di costruzione, i quali

mostrano se non altro la distanza verosimile de' limiti, entro cui i valori di cotesti elementi statici possono vagare, ed hanno fatto strada ad interessanti condizioni generali circa i migliori effetti delle malte, alcune delle quali furono già toccate, ove delle sostanze componenti, dell' apparecchio, e dell' impasto delle medesime, ed alcune altre saranno ora additate, secondo che ne cadrà l' occasione.

§. 554. Le gravità specifiche di varie sorta di malte, delle quali ci vien dato conto dal Rondelet (1), e che da noi verranno raccolte in un prospetto dopo il presente capitolo, sono tutte comprese fra 2028, e 1515, onde verosimilmente possono questi risguardarsi siccome i limiti, entro i quali si estende la variabilità de' pesi specifici delle malte. Nell' enunciato prospetto si troverà notata la gravità specifica della malta, composta di calcina e pozzolana nostrale, del valore di 1320. Ora essendo qui generalmente ammesso dai pratici (2), che il peso d' un palmo romano cubo di muro di mattoni sia di libre romane 50, e quindi che un metro cubo dello stesso muro abbia il peso di chil. 1522, se si supponga il volume de' mattoni a quello della malta :: 6 : 4, rapporto che effettivamente si osserva nell' ordinarie nostre strutture, e si richiami il noto valore della gravità specifica de' mattoni, che è 1654 (§. 521) con semplicissimo calcolo si scoprirà che il peso specifico della nostra malta dev' essere uguale a 1324, valore che quasi esattamente corrisponde a quello datoci dal Rondelet, e che appunto per tale corrispondenza acquista molto peso d' autorità per gli usi della pratica.

§. 555. Venendo ora alla resistenza delle malte, e primieramente alla resistenza alla compressione, apparve questa al Rondelet (3), dietro i risultati de' suoi sperimenti, di chilog. 3,54 nelle malte di calcina e d' arena fluviatile, di chilog. 6,93 in quelle di calcina e pozzolana, e di chilog. 11,02 nelle malte di calcina e mattone polverizzato, per ciascun centimetro quadrato della sezione perpendicolare alla direzione della forza distraente; essendo costantemente :: 2:3 il rapporto della calcina spenta all' altra sostanza componente in ciascheduna delle malte le quali vennero messe alla prova 16 anni dopo ch' erano state apparecchiate. Lo stesso Rondelet stabilisce che per dato medio la resistenza assoluta può essere valutata di chilog. 5,02 nelle malte composte, e di chilog. 4,01 in quella di gesso per ciascun centimetro quadro della sezione. Posteriormente

(1) *Traité de l' art de bâtir* - Lib. II Sez. II artic. IV.
(2) Masi - *Teoria e pratica d' architettura civile* - Appendice II.
(3) Nel luogo precitato.

il Vicat (1) da un apparato di copiose sperienze ha potuto inferire, che per un centimetro quadrato la resistenza assoluta è di chilog. 9,60 nelle malte ben composte d'arena silicea e d'eccellente calcina idraulica; di chilog. 6,00 nelle malte d'uguale arena, e di calcina idraulica ordinaria; di chilog. 3,60 in quelle d'arena parimente silicea e di calcina comune di qualità grassa o mediocre; finalmente di soli chilog. 1,50 al più nelle malte mal condizionate. Il medio di tali risultati sarebbe una resistenza di chilog. 5,17 per centimetro quadrato.

§. 556. Oltre la resistenza assoluta delle malte considerate in se medesime, che può dirsi *intrinseca*, e di cui abbiamo or fatto parola, vuolsi pure esaminare la resistenza assoluta di esse, relativamente alla tenacità con cui addivengono aderenti alle pietre, e per cui non ne possono venir distaccate che con più o meno dispendio di forza. Cotesta resistenza assoluta, che possiamo chiamare *estrinseca*, va variando non solo nelle diverse malte, ma in una malta stessa secondo che si adopera con una o con un'altra specie di pietre (§. 510). In alcune sperienze fatte dal Boistard (2) sopra alcune malte dell'età di soli 16 o 18 giorni, risultò la resistenza estrinseca del valor medio di chilog. 0,53 per centimetro quadrato. Ma nelle malte di sei mesi fu la stessa resistenza trovata dal Rondelet del valor medio di chilog. 1,74 per ogni centimetro quadro. Il confronto di questi risultati mostra che la resistenza estrinseca delle malte si aumenta coll'andar del tempo; ed altronde con molti altri sperimenti il medesimo Rondelet si accertò che quando le malte sono giunte al perfetto loro indurimento hanno la resistenza estrinseca almeno uguale e non di rado maggiore della resistenza intrinseca. Discoprì esso ancora che le malte di gesso, quando sono dell'età di sei mesi, hanno una resistenza estrinseca del valor medio di chilog. 2,47 per centimetro quadrato, maggiore della resistenza estrinseca delle malte composte, d'uguale età; ma che nel gesso cotesta resistenza cresce coll'andar del tempo molto meno che nelle malte di calcina, e non giugne mai ad oltrepassare i due terzi della resistenza intrinseca, quando la malta è perfettamente indurita. Laonde mentre la resistenza estrinseca nelle vecchie malte composte potrà stimarsi, come si è veduto (§. 555), del valor medio di chilog. 5,02, il valor medio di essa nelle attempate malte di gesso non potrà esser valutato al più che di chilog. 2,67.

Del resto i risultati delle sperienze intorno alla resistenza assoluta

---

(1) *Recherches ec.* - Sez. III cap. X.
(2) V. *Traité de la construction des ponts par Gauthey* Nota II dopo il cap. IV del lib. II.

intrinseca ed estrinseca delle malte giovano bensì a dar lume in astratto sulla maggiore o minor virtù delle malte stesse nelle varie condizioni della loro composizione, del loro impiego, e della loro età; ma niuna occasione si offre forse nella pratica comune, in cui sia d'uopo di tenerne rigoroso conto come elemento di calcolo nelle statiche determinazioni.

§. 557. Dicasi lo stesso della resistenza rispettiva delle malte: le quali pure come l'assoluta vuol esser distinta in intrinseca ed estrinseca. Gli addotti risultati dell'esperienze sulla resistenza assoluta dell'una e dell'altra sorta possono agevolmente somministrare i valori del coefficiente o modulo $k$ per le varie qualità di malte, da introdursi nelle note formole generali per la determinazione della resistenza rispettiva, comunque tenuta in esercizio, nei solidi di figura e dimensioni date (§. 159). Avvertiremo anzi che le citate sperienze del Boistard e del Vicat furono direttamente rivolte a conoscere la resistenza rispettiva, e dai conosciuti valori di questa furono poi dedotti i testè annunciati valori della resistenza assoluta. Quindi si scorge che il calcolo inverso deve precisamente condurre a quei valori di $k$, che propriamente corrispondono ai risultati delle sperienze, mentre si potrebbe piuttosto sospettare di qualche fallacia nei valori indirettamente determinati della resistenza assoluta, essendo noto che la proporzione della resistenza assoluta alla rispettiva aberra talvolta in fatto dell'ipotesi meccaniche (1), come abbiamo specialmente avuto occasione di osservare ne' legni (§. 160).

§. 558. Quella che più fa d'uopo di conoscere nelle malte, del pari che nelle pietre, è la resistenza allo schiacciamento, la quale è tenuta in continuo esercizio nelle masse murali, per la pressione prodotta dalle superiori sull'inferiori, ed anche non di rado per qualche spinta laterale a cui si trovano esposte. Il Rondelet (2) ha istituite molte utili sperienze per conoscere il valore di questa specie di resistenza in varie sorte di malte. Dai risultati di tali sperienze raccoglieremo i principali nel breve prospetto, che abbiamo promesso (§. 554) d'aggiungere alla fine di questo capitolo; ove al solito ne esprimeremo i valori per mezzo di quei pesi, che possono esser sopportati da ciascun centimetro quadrato della sezione perpendicolare alla forza comprimente, senza che la malta resti schiacciata. Le sperienze si fecero con malte composte di due parti di calcina in pasta, e di tre parti d'arena o di qualch'altra materia. Furono tali malte sottomesse ad una prima prova diciotto mesi dopo che erano state preparate e ridotte alla forma di mattoni, e si esplorarono poi di bel

(1) Venturoli - *Elementi ec.* - Vol. I lib. III cap. XVII.
(2) V. *Traité de l'art de bâtir* nel luogo precitato.

nuovo, dopo un lasso di quindici o sedici anni, altri mattoni formati alla stessa epoca de' primi, e con alcune delle stesse identiche malte. Si poterono così paragonare le resistenze delle varie malte, e si potè conoscere quanto le resistenze medesime siano capaci di crescere, invecchiate le malte a segno di poter essere sicuramente asciutte e consolidate a perfezione. Nel prospetto saranno registrati in distinte colonne i risultati delle prime e delle seconde sperienze. Saranno pur notate le resistenze di qualche malta di gesso, come pure d'alcune malte ricavate dai muri di antiche fabbriche, cui pure piacque allo stesso Rondelet di soggettare allo sperimento. Si vedrà che per la malta moderna di pozzolana di Roma e di calcina, la resistenza è espressa da chilog. 34,4, e per le malte di pozzolana bianca di Napoli da chilog. 38,2. Ma in questa e nell'altre malte esplorate a Parigi fu adoperata della calcina di Marly; e sarebbe quindi opportuno di provare con particolari sperimenti le malte fatte con le nostre calcine, per avere dei dati più probabili, di cui poter far uso nelle pratiche nostre occorrenze.

§. 559. Il Rondelet volle provare quanto possa contribuire ad accrescere la resistenza allo schiacciamento delle malte, il renderle più compatte battendole o pestandole in opera. Si troveranno nel nostro prospetto inseriti i risultati delle sperienze istituite a tal uopo, e si scorgerà dall'esame de' medesimi che generalmente le malte divengono, quando sono battute, assai più dense e più resistenti di quello che possono essere senza cotesta operazione. Nelle malte di pozzolana di Roma battute la resistenza supera d'un terzo circa quella delle stesse malte poste semplicemente in opera senza batterle. Quindi si deduce che il battere o comprimere in altro modo equivalente le malte può essere un espediente non poco vantaggioso nella costruzione di quelle masse murali, che sono destinate ad esercitare una straordinaria resistenza.

§. 560. Le malte adoperate molli nella costruzione de' muri acquistano poi col tempo in opera le qualità lapidee, per cui come già avvertimmo (§. 553) dopo il loro assodamento assumono il carattere di pietre artefatte, e per le stesse qualità acquistate, e per gli uffici comuni che debbono avere con le pietre naturali, o laterizie, che insieme con esse compongono le masse murali. Ma possono anche le malte servir di materia per l'apparecchio di pietre fattizie, da impiegarsi come tali in istretto senso nell'originaria costruzione de' muri. Insegna il Rondelet (1) come potrebbero farsi dei mattoni con una malta composta di calcina spenta secondo il metodo del Delorme (§. 534), e di buon'arena

(1) Lib. I. sez II. artic. VI.

fossile, ovvero anche con adoperare in vece dell' arena la polvere di qualche pietra tenera. Ed il medesimo autore ci racconta che in Parigi da non molto tempo si è introdotto l' uso di fare de' mattoni di gesso, i quali quando son ben asciutti servono per la costruzione di leggeri muri di tramezzo nell' interno dell' abitazioni. Oltre l' accennato vantaggio della leggerezza, cotali tramezzi di mattoni in gesso hanno anche quello d' occupare pochissimo spazio, poichè i mattoni si murano l' uno sull' altro in taglio, o vogliam dire in costa, ov' essi non sono grossi che m. 0,068: e l' altro di asciuttarsi prestissimo, e così di non impedire per lungo tempo che gli appartamenti possano essere abitati. Questi mattoni hanno un incavo nel contorno, affinchè possa insinuarvisi la malta liquida di gesso, con cui vengono uniti nella costruzione.

§. 561. Nel libro primo si fece menzione (§. 26) dei prismi, detti anche cantoni di smalto o di getto, di cui può esser opportuno l' uso nella costruzione de' moli in difesa dell' arginature de' fiumi. Possiamo in questi ravvisare un genere particolare di pietre artefatte, composte di malta impastata con ghiaia, o con sassi minuti. Nè solo se ne limita l' uso alle prefate costruzioni, ma dessi possono divenir utili in molte altre occorrenze di lavori negli alvei de' fiumi e de' torrenti non solo, ma talvolta anche in alcuni bisogni delle costruzioni civili, in vece della pietra da taglio, ove di questa si abbia penuria. Molta copia di così fatti materiali fu impiegata dal Cocconcelli (1) in vari lavori negli alvei del Taro e della Trebbia, all' occasione dei due grandiosi ponti recentemente innalzati sopra quei due sfrenati torrenti. Ed il Borgnis ci narra (2) che ad Alessandria nel Piemonte è costume di valersi di questa sorta di pietre artefatte invece della pietra da taglio, specialmente per la costruzione delle parti angolari delle muraglie nelle fabbriche civili, da che è forse derivata la denominazione di cantoni. Il motodo che colà si osserva, giusta i ragguagli dello stesso Borgnis, potrà servir di norma in ogni caso per l' apparecchio di simili materiali. Si spegne col metodo ordinario un' eccellente calcina idraulica, e lasciatala in riposo per cinque o sei giorni s' unisce e s' impasta con una mistura naturale d' arena e di ghiaia minuta e grossa, di natura eminentemente silicea, e contenente qualche particella calcarea. Incorporate ben le materie a forza di rimenarle accuratamente, si scavano delle fosse di sezione triangolare, di cui si bagnano le sponde e si lisciano bene con una cucchiaia,

---

(1) V. l'altra volta ricordata sua *Descrizione de' progetti e lavori per l' innalzamento de' due ponti sul Taro e sulla Trebbia*.

(2) *Traité élémentaire de construction* --- Lib. I cap. II.

e quindi vi si getta dentro lo smalto, inserendovi delle scaglie di pietra, tutte presso a poco d' ugual grossezza. Formati in tal modo i prismi, si coprono con uno strato di terra alto circa m. 0,30, e si lasciano così sepolti per tre anni, passati i quali si disotterreranno per metterli in opera. Forse non è rigorosamente necessario un triennio; ma in generale un anno almeno è d' uopo che passi pel consolidamento de' prismi di smalto (1) La materia dei prismi, adoperati ai lavori de' ponti sul Taro e sulla Trebbia, fu un composto di tre parti di ghiaia minuta, e d' una parte di malta: e questa componeasi d' una parte di calcina spenta e due parti d' arena.

§. 562. Nelle costruzioni idrauliche non di rado si offre il caso di dover costruire dei muri sott'acqua, perchè si riconosce o assolutamente impossibile, ovvero troppo arduo e dispendioso di tener sgombrato il sito dall'acqua durante la costruzione. Sono questi casi nei quali è forza d'abbandonare i metodi ordinari di costruzione, e di ricorrere all'uso de' cassoni (§. 388) o delle paratie (§. 412), per fabbricarvi dentro le masse murali quasi di getto, versandovi, come altra volta si è accenuato, le materie cementizie alla rinfusa fino al livello circa dell'acqua, e lasciandole incassate, finchè abbiano acquistato la consistenza necessaria, per non aver a temere che possano essere disciolte dall'acqua, e dalle sue agitazioni. Questo genere di struttura è in certo modo analogo a quello de'prismi, di cui abbiamo testè fatto parola: se non che questi vengono apparecchiati ove piaccia, e sono poi messi in opera altrove quando si sono perfettamente consolidati; mentre le masse di smalto entro l' acqua si debbono formare, e debbono assodarsi nel sito stesso in cui permanentemente dovranno rimanere a far parte d' uno o d' un altro edifizio. Importa quindi sommamente che le materie di questi smalti sieno scelte e combinate in modo, che ne risulti un composto capace di acquistar pronta e forte consistenza nell' acqua; il che non è necessario pei prismi che debbono essere impiegati in altri usi dell' architettura civile, o che se pure debbono essere adoperati nell' acqua, ciò non deve accadere prima ch' essi trovinsi perfettamente assolidati. Gli smalti per la costruzione delle masse murali entro l' acqua diconsi con particolare denominazione *bitumi*. Ordinariamente il bitume è composto di calcina idraulica, d' arena, di pozzolana, o di polvere di mattone, e di scaglie o frammenti di pietre naturali o laterizie. Ma per la scelta e per le proporzioni più opportune de' componenti non può stabilirsi alcuna regola generale, atteso che vari oltre modo possono

(1) Parea --- V. la seconda delle sue relazioni inserite nella precitata *Descrizione de' progetti e lavori ec.* a pag. 126.

essere gli effetti d'un miscuglio fatto con le stesse sostanze e con le medesime proporzioni, a norma delle diverse qualità naturali delle sostanze medesime. Per la qual cosa è necessario, quando per avventura non si abbiano precedenti esempi di bitumi fatti con le stesse identiche materie, di esplorare nelle particolari occorrenze, per mezzo di molti tentativi, quali fra le calcine e l'altre sostanze, di cui le circostanze permettono di disporre, e con quali proporzioni mescolate, possano in miglior modo corrispondere al divisato effetto. Cotali tentativi è facile d'immaginare come abbiano ad essere istituiti. Lo Sganzin (1) indica le qualità e le proporzioni de'componenti d'un bitume, di cui asserisce essersi sperimentata in molti casi l'efficacia. Per dar pure qualche esempio di questa sorta di composizioni, ci gioveremo di questa notizia esibitaci dallo scrittore francese. Il bitume da lui citato fu composto di dieci parti di calcina idraulica viva, dodici parti di pozzolana nostrale, sei parti di sabbione o ghiaiuola, e dodici parti di scaglie lapidee. Per formare lo smalto si dispone prima la pozzolana in forma di bacino, entro cui si pone la calcina viva, che si spegne con versar l'acqua nell'atto di mescolare insieme queste due prime sostanze. Si aggiugne di poi la ghiaiuola, continuando a rimenare l'impasto, ed in fine vi si frammischiano le scaglie, avvertendo che non dev'essere adoperata altr'acqua, oltre quella che da principio è stata sufficiente per ridurre la calcina insieme con la pozzolana in una pasta regolare. La mistura si lascia in riposo per otto o dieci ore, e quindi si rimescola, e si pone in opera.

Nelle fondazioni de' sostegni del nuovo canale navigabile di Pavia fu adoperato un bitume composto di dieci parti di calcina spenta, cinque di pozzolana, altrettante di sabbia, e sette di mattoni frantumati. Cotesto bitume fece un'ottima riuscita, siccome per l'appunto erasi potuto presagire anticipatamente, dietro i risultati di vari tentativi tendenti a determinare le dosi più opportune pel mescolamento delle nominate sostanze (2)

(1) *Programmes ec.* — Lezione VI.
(2) V. la terza delle memorie dell'Ispettor generale Parea riportate nella più volte citata istoria della navigazione interna del Milanese, compilata dal Bruschetti.

## PROSPETTO

*delle gravità specifiche, e delle resistenze allo schiacciamento di varie specie di malte secondo i risultati delle sperienze di Rondelet.*

| numerazione | specificazione delle malte sottomesse alle sperienze | gravità specifiche delle malte | | resistenza allo schiacciamento delle malte — di 18 mesi | | resistenza allo schiacciamento delle malte — di 16 anni ed antiche | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | naturali | battute | naturali | battute | naturali | battute |
| | | *chil.* | *chil.* | | *chil.* | *chil.* | *chil.* |
| 1 | Malta di calcina ed arena fluviatile . . . . . | 1625 | 1893 | 30,7 | 41,5 | ,, | 47,0 |
| 2 | Di calcina ed arena fossile . . . . . . . . . | 1588 | 1903 | 40,7 | 56,2 | ,, | ,, |
| 3 | Di calcina e polvere di mattoni o di cocci . . | 1457 | 1663 | 47,6 | 65,3 | ,, | 81,4 |
| 4 | Di calcina, d'una parte d'arena fossile e due di coccio in polvere . . . . . . . . . . . | 1503 | 1734 | 43,5 | 61,9 | 48,5 | ,, |
| 5 | Di calcina e polvere di pietra arenaria . . . | 1681 | 1844 | 29,3 | 34,2 | 29,6 | ,, |
| 6 | Di calcina e pozzolana di Roma . . . . . | 1320 | 1442 | 34,4 | 44,9 | ,, | 51,2 |
| 7 | Di calcina e pozzolana bianca di Napoli . . . | 1024 | 1177 | 38,2 | 56,2 | ,, | 72,3 |
| 8 | Di calcina e d'un miscuglio di pozzolane di Roma, e di Napoli . . . . . . . . . . | 1456 | 1676 | 36,6 | 53,3 | ,, | ,, |
| 9 | Lastrico fatto con calcina e lapillo di Napoli (*) . | ,, | 1091 | ,, | 47,2 | ,, | 56,4 |
| 10 | Lastrico vecchio fatto originariamente a Napoli. | ,, | 1000 | ,, | ,, | ,, | 64,3 |
| 11 | Intonaco d'un'antica conserva d'acqua delle adiacenze di Roma . . . . . . . . . . | ,, | 1549 | ,, | ,, | ,, | 76,1 |
| 12 | Calcinaccio ricavato dall'interno d'un antico muro di Roma . . . . . . . . . . . . | 1414 | ,, | ,, | ,, | 70,8 | ,, |
| 13 | Malta ordinaria di gesso . . . . . . . . | 1227 | ,, | 49,6 | ,, | ,, | ,, |
| 14 | Gesso impastato con latte di calcina . . . . | 1115 | ,, | 72,6 | ,, | ,, | ,, |

(*) Il *lastrico* è uno smalto, di cui a Napoli si costruiscono bei pavimenti, ed è composto appunto di calcina e di quella polvere vulcanica che chiamasi lapillo. Se ne farà menzione più avanti quando si parlerà de' pavimenti.

## CAPO V.

### *Della fondazione de' muri.*

§. 563. Qualunque fabbrica deve ripetere principalmente la sicurezza delle proprie stabilità dal buon fondamento; vale a dire dall'esser piantata sopra un fondo, che naturalmente, o per artificiali ripieghi sia capace di sopportare inalterabilmente il peso del sovrapposto edifizio. E a null'altro per.lo più, fuorchè ad una viziosa fondazione, voglionsi imputare le lesioni e gli sconci, che presto o tardi avvengono ne' muri di molti edifizi, e ne abbreviano la durata, se pure non ne accelerano la dissoluzione e la ruina. Per la qual cosa l'articolo de'fondamenti addiviene di massima importanza nell'arte edificatoria: e tanto più che gli errori di costruzione, come sensatamente avvertiva Leon Battista Alberti (1), in qualunque parte dell'edifizio sono meno dannosi, più facili ad emendarsi, e quindi più condonabili che ne' fondamenti, ove, conforme severamente pronunzia concludendo lo stesso gran maestro, del mal fatto niuna sorta di scusa può esser menata buona. Nel secondo libro si ebbe occasione (cap. XIV) di considerare i vari motivi, e gli opportuni espedienti, d'impiegare il legname per la sicura fondazione de' muri. Ora ci faremo a riassumere l'argomento da suoi principii, e a prescrivere brevemente le generali norme da osservarsi, per fondare saldamente i muri di qualunque edifizio; d'onde appariranno poi di bel nuovo più chiaramente le condizioni, dalle quali dipende l'opportuna scelta di quegli espedienti, che altrove furono descritti, e che abbiamo testè rammentati.

§. 564. La crosta superficiale della terra è formata di materie di vario genere, adattate ove sì ove no, secondo la naturale loro consistenza, a prestare una solida base pel sicuro impianto de' muri. Non basta però che la materia si mostri solida alla superficie, ma è d'uopo che tale si mantenga fino a tanta profondità, per cui, quand'anche al disotto fossero altri strati di materie men solide, o cedevoli, possa lo strato superiore per la sua grossezza conoscersi atto a non ischiantarsi, ed avvallarsi, pel carico che gli deve andar sovrimposto. Qualora di ciò si abbia sicura prova, i muri possono piantarsi francamente sopra questo solido letto naturale, giacente alla superficie del suolo, senza bisogno di profonde escavazioni, o d'altre operazioni di conseguenza; salvo quei piccoli adattamenti, che dichiareremo fra poco. Quando poi la crosta superiore del

(1) *De re aedificatoria*. Lib. III cap. II.

terreno nel sito, ove debbono erigersi i muri dell'edifizio, si riconosca incapace di reggerne il peso, o perchè composta di materia mal ferma, o perchè non bastantemente massiccia, e altronde soprastante ad altri strati di materie cedevoli, convien cercare se a qualche discreta profondità esista un letto ben radicato di materia soda, sul quale poter piantare con sicurezza la mole dei muri. Se si offrirà questo letto sodo, non troppo basso sotto la superficie naturale del suolo, si potrà in esso trovare un sostegno sicuro per l'impianto de'muri, sia che le circostanze permettano di scoprirne per escavazione il dorso, e di fondarvi immediatamente sopra le murali costruzioni, sia che, opponendosi qualche ostacolo, o qualche riguardo di convenienza al denudamento della superficie superiore del fondo consistente, si debba o si voglia senza escavazione far portare a questo il carico de'muri, mediante un castello di legname, i di cui membri verticali, cioè i pali battuti fino a raggiugnere il sodo, a guisa di colonne poggiate sopra una salda base, sorreggano la sovrapposta mole de'muri e dell'intero edifizio (§. 384). Quando poi avvenga di non rinvenire un fondo stabile per quanto si approfondi la ricerca, ovvero che si rinvenga soltanto a tale profondità, che oltrepassi quel limite entro il quale si estende la possibilità o la convenienza d'eseguire l'escavazione, o di piantare una palificazione, per posare su di esso o immediatamente o mediatamente le murali costruzioni; non rimane altro espediente che quello di correggere la viziosa natura del fondo, a fine di renderlo con opportuni temperamenti adattato a ricevere sopra di se il carico dell'edifizio, senza che possa risentirsene con perniciose mosse.

§. 565. La scelta del metodo da tenersi per fondare solidamente uno edificio è dunque essenzialmente vincolata alla perfetta cognizione della natura e delle vicende del terreno, in cui la fondazione deve succedere, fino a tale profondità che basti a dar lume per decidere della scelta, in conformità delle massime generali testè additate. Cotesta cognizione non può acquistarsi che per via d'accurate esplorazioni, ripetute in molti punti, ed alla necessaria profondità, entro l'aree designate per l'impianto de'muri. In vari modi si possono eseguire l'esplorazioni, le quali non impropriamente diconsi *tasti*. Il mezzo più sicuro è quello di scavare delle fosse o dei pozzi, nei quali si ha campo d'esaminare l'indole delle materie, che si succedono l'une all'altre sotto la crosta superficiale, e le profondità a cui s'internano i diversi strati delle materie stesse. Ma questi scavi non sono praticabili, ovunque la superficie terrestre è coperta dall'acqua, come negli alvei de'fiumi perenni, ed entro il letto del mare, o di qualche lago: e d'altra parte non sono di piccola spesa, onde sogliono riserbarsi soltanto per le più gelose occasioni. Ordinariamente il saggio del terreno suol farsi per mezzo d'ordigni, che diconsi *taste* ovvero

*tente*, ed altro non sono che lunghe aste di ferro, acconce ad esser introdotte verticalmente nel terreno, e a trar con se, quando vengono ritirate, delle piccole mostre delle materie incontrate a varia profondità. Le varie forme di tali ordigni, e le maniere di farne uso verranno spiegate nel seguente libro.

§. 566. Dipendentemente dalla natura e dalla disposizione delle materie componenti la crosta esteriore del terreno, ed esistenti sotto la crosta medesima, a due casi principali si riduce la fondazione di qualunque fabbrica. Il primo si è quello in cui i muri possono esser piantati sopra un fondo per se abbastanza consistente, e che perciò non richiede altre preparazioni, se non che quelle, che sono necessarie per appoggiarvi regolarmente e solidamente l'imbasamento de'muri medesimi, sia immediatamente, sia mediante un interposto castello di legname. Le materie, che costituiscono un fondo confacente a questo caso, sono in primo grado lo scoglio, ed in grado inferiore il tufo, e le terre cretose o per meglio dire argillose; e queste specialmente se sono brecciose, compatte, e dure. Il secondo caso abbraccia tutti quelli nei quali i muri debbono sorgere sopra un fondo mobile, di cui è d'uopo di correggere l'indole cattiva, ovvero di prevenirne i dannosi effetti, con adattati temperamenti, prima di venire all'impianto delle murali costruzioni. Appartengono a questo caso le fondazioni da eseguirsi sull'arena, sulla torba, e sulle terre ordinarie sciolte, di cui sono molte e molte varietà. Sotto questa generale distinzione considereremo poi i casi secondari, e succintamente esamineremo con quali metodi, e con quali particolari artifizi debba essere regolata la fondazione de'muri, in corrispondenza delle circostanze proprie a ciascuno d'essi casi.

§. 567. Ma qualunque sieno le circostanze del fondo, e qualunque il metodo di fondazione che debba adottarsi, è d'uopo prima d'ogni altra operazione di disegnare sul terreno le linee, sulle quali dev'esser tracciato l'impianto dei muri; vale a dire la pianta fondamentale dell'edifizio. Questa delineazione si eseguisce con gli strumenti, e con le regole dell'arte geodetica, a norma dei tipi già disegnati in carta, i quali costituiscono un corredo essenziale di qualunque progetto architettonico. Le linee si segnano sul terreno per mezzo di file di *pichetti* o paletti, allineati a traguardo, col sussidio di paline, o antenne verticalmente erette negli angoli, e nell'inflessioni della pianta. In questa occasione si stabiliscono anche gli opportuni capi saldi, che dovranno in appresso servire di norma alla giusta livellazione delle parti tutte dell'edifizio, o vogliam dire alla fissazione dell'altezze, in conformità dei disegni, e del piano dell'opera. Per lo più i capi saldi si marcano sulle stesse antenne visuali testè menzionate, incidendovi a tal uopo delle tacche a convenienti altezze,

determinate col livello. Ove si voglia una più scrupolosa esattezza, si stabiliscono per capisaldi dei pilastretti di pietra, come appunto si praticò per l'apertura del prememorato canale navigabile di Pavia, e per la costruzione dei vari edifici murati, che di esso fanno parte (1).

§. 568. Nel caso di dover piantare i muri d'un edifizio sopra un fondo per se stesso idoneo a sostenerne il peso, 1°. o che questo fondo si presenta immediatamente alla superficie del suolo, internandosi, come più volte si disse, ad una sufficiente profondità, 2°. ovvero che giace ad una certa profondità, coperto da uno o da altri strati superiori di materie mal ferme. Il primo di questi due casi secondari rigorosamente non avviene, se non che quando un profondo scoglio, o un massiccio banco di solido tufo, si estende a fior di terra, sull'area che dev'essere occupata dall'edificio: poichè la terra argillosa non mai si offre alla superficie del suolo in istato di poter immediatamente ricevere l'imbasamento de' muri; e quand'anche talvolta apparisse a prima vista sincera e solida, sarebbero sempre da temersi l'alterazioni, cui col tempo potrebbe andar soggetta o per naturali o per umane cagioni. Supposto dunque che un solido strato superficiale di masso vivo o di tufo lapideo debba servir di base immediata ai muri dell'edificio, sarà d'uopo di premettere le seguenti preparazioni. 1°. Ovunque i muri debbono essere piantati si tolga tutta quella crosta esteriore, che o in origine non fosse giunta ad un perfetto consolidamento (§. 512), ovvero che fosse stata alterata dalla lunga esposizione all'influenze atmosferiche. 2°. Si rada il dorso del masso per renderne orizzontale la superficie; e quando il suolo sia naturalmente inclinato, come avviene alle falde dei monti, si tagli il masso a scaglioni, che secondino il pendio naturale, ed offrano a diverse altezze una base sempre orizzontale ai muri da costruirsi. 3°. Ove s'incontrino delle cavità nel masso, si sgombrino e si ripuliscano d'ogni materia eterogenea, e quindi si riempiano di buon muramento. 4.° Giova anzi d'aprire a bella posta nel masso qua e là degl'incavi di qualche profondità, da riempirsi, come si è detto di buon muramento, che costituisca come tanti denti verticali, per cui le sovraerette masse murali si abbiano a trovare saldamente quasi imperniate nel masso stesso. Sono in singolar modo utili quest'imperniature negli angoli degli edifici. 5°. Si procuri che la superficie del masso, su cui debbono riposare i muri, rimanga piuttosto scabra, e specialmente se lo scoglio è di pietra dura, affinchè le malte possano farvi più salda presa (§. 510).

---

(1) V. la precitata memoria dell'ispettor generale Parea.

Importa sopra tutto di non lasciarsi deludere dall'apparenza esteriore del masso, o del risultato di pochi tasti fatti qua e là, ma si debbono questi moltiplicare senza risparmio; perchè non di rado, quantunque non appariscano alla superficie, il banco lapideo ha delle interruzioni o delle caverne, coperte come da volte naturali, le quali se per la loro grossezza non sono valide a resistere al peso de' muri, che vi si appoggiano, possono sprofondarsi con tanto più grave danno, quanto più tardo ad accadere è lo sconcio, o piuttosto quanto più al sopravvenire di questo i muri superiori trovansi avanzati. A correggere coteste mancanze del fondo debbonsi demolire quelle volte naturali, che per se stesse non offrirebbero la necessaria robustezza, per sostituire ad esse delle buone volte di muro, appoggiate alle spalle opposte del masso, e sostenute, se fia d'uopo, da intermedi piedritti artefatti, piantati sul fondo della caverna. Con somiglianti volte di muro si può anche rimediare a quelle ampie e profonde interruzioni, che si estendono fino alla superficie esterna, senza che sia d'uopo di riempire di muramento l'intera cavità, come si è prescritto pei piccoli vani del masso.

Quando lo scoglio, sul quale debbono fabbricarsi i muri, è coperto dall'acqua, non basta ch'esso per la profondità a cui si estende si riconosca atto a sopportare il peso dell'edifizio, ma egli è pur necessario d' accertarsi ch' esso sia di natura tale da non poter essere col progresso del tempo alterato dall'acqua. Havvi in fatti alcune specie di rocce, che nell'acqua a lungo gioco si decompongono, e tali sono alcune calcaree tenere; ed altre che nell'acqua si sfaldano a poco a poco e si assottigliano, come sono alcuni graniti schistosi, e in singolar modo gli schisti propriamente detti. Se dunque al fondo del mare o di qualche fiume si offra immediatamente un letto di roccia, solido sì per portare il peso di qualche edificio, ma però suscettibile dell'accennate alterazioni, non si dovrà azzardare di piantarvi i muri senza ricoprire tutta l'area della fondazione con una platea generale di muro, i di cui lembi s'internino nel masso sino a tale profondità, cui non possano arrivare le temute alterazioni. Ovvero si dovrà procedere come se la crosta superficiale fosse di materia non abbastanza soda, e profondare le costruzioni murali per escavazione, come si dirà qui appresso, fino a mettersi al sicuro dai contrari effetti dell'acqua.

§. 569. Quando il fondo sodo, che deve costituire la vera base d'un edifizio, giace a qualche profondità sotto la superficie del suolo, in due diverse maniere si può eseguire la fondazione dei muri, cioè 1°. o per escavazione, 2°. o per palificate. Con la prima i muri vanno ad essere immediatamente stabiliti sul sodo; con la seconda il fondo solido non sostiene i muri immediatamente, ma mediante un castello intermedio di robusti

pali (§. 564). La fondazione per escavazione consiste nel cavar tante fosse o *trincee* quanti sono i muri da erigersi, profondate a modo da rendere scoperto il fondo sodo, larghe quanto abbisogna per potervi fabbricare entro i muri delle prestabilite grossezze, e tracciate sulle precise direzioni assegnate ai singoli muri nella pianta dell'edificio (§. 567): e nel predisporre quindi il letto con tutte quelle medesime operazioni preparatorie, che sono state inculcate (568) pel caso di dover fabbricare sul masso esistente alla superficie naturale del suolo. Lo stesso metodo di fondazione si conviene al caso, in cui il fondo idoneo si presenti a fior di terra, ma sia però di tal natura, che possa rimaner alterato coll'andar del tempo per qualunque causa accidentale, fino ad una certa profondità: ed appunto fino a quella profondità è d'uopo in simili casi d'internare l'escavazione delle *trincee*, e l'impianto dei muri. Così nel masso di pietra viva o di tufo, quando sopra vi corra o vi ristagni l'acqua, e sieno temibili quelle alterazioni, che abbiamo poc'anzi specificate. Così pure in un fondo argilloso, per quanto è temibile che l'acque pluviali, o sotterranee giungano ad alterarlo a qualche profondità; e anzi di più, nell'interno delle città, o dovunque possa prevedersi la circostanza di doversi presto o tardi aprir degli scavi nel terreno adiacente per fogne, per acquedotti, per cantine, o per qualunque altro fine, è sempre ben fatto di spingere addentro le fondazioni de'muri fino a quella massima profondità, a cui verosimilmente si supponga che possano giugnere successivamente l'escavazioni eventuali per alcuna dell'accennate occorrenze.

§. 570. In che consista la fondazione per palificate, a quali casi ne appartenga propriamente l'uso, con qual metodo e con quali norme ne debba essere regolata l'esecuzione, non occorre qui di ripeterlo, poichè questi vari articoli furono già dettagliatamente sviluppati nel precedente libro (§. 384. e seg.).

§. 571. La maggior difficoltà della fondazione de'muri si offre nel secondo dei due casi generali già distinti (§. 566): cioè quando, non esistendo ad una discreta profondità un letto naturalmente abbastanza sodo, a cui si possa affidare con sicurezza il carico dell'edifizio, sia nell'uno sia nell'altro de'modi fin qui spiegati, a norma delle circostanze, si rende inevitabile di piantare i muri sopra un fondo più o meno cedevole; ond'è forza di rimediare al difetto della base con istudiati ripieghi. Due sorta di rimedi sono suggeriti dall'arte per queste difficili occasioni: gli uni diretti, gli altri indiretti. I primi tendono a correggere, i secondi ad eludere l'indole viziosa del fondo.

§. 572. Uno dei rimedi diretti è quello della palificazione fondale, per mezzo di cui si stringe il terreno, onde ridurlo a quel massimo

grado di condensamento, di cui è suscettibile, e porlo per conseguenza al sicuro da qualunque successivo cedimento sotto il carico dei muri. Della struttura e dell'uso di tali palificazioni si disse pure abbastanza nell'antecedente libro (§. 380). Alcune specie di terreni cedevoli si possono anche correggere con un espediente assai più semplice. Consiste questo nel comprimere a più non posso il fondo, battendolo a rifinto di pesanti magli, vale a dire finchè sia calato a segno, e portato a tal grado di consistenza, che vani riescano nuovi colpi a renderlo più compatto. Siamo informati dal Rondelet (1) ch'esso stesso è stato testimonio del buon esito di cotesto espediente, adoperato da un esperto costruttore a predisporre un fondo cedente a star fermo sotto il carico d'un edifizio, che gli venne dipoi addossato. La battitura fu eseguita per mezzo d'un mazzapicchio del peso di chilog. 50 circa, ferrato nella parte di sotto, il quale veniva maneggiato da due uomini. Ed il Borgnis (2) ci fa sapere essersi osservato che in Venezia, città piantata, siccome è noto, in mezzo all'acqua, sul fondo limoso d'una laguna, molti edifici eretti nel secolo decimo quarto o anteriormente, non sono già sostenuti da una palificazione, siccome gli altri che furono posteriormente fabbricati, ma bensì da un'ampia base o platea generale di muro, stabilita sopra uno strato di terra ben costipato, in cui si ravvisano non equivoci segni d'un'anticipata compressione artificiale; e che cotesti edifici, fra i quali si annovera quello delle *vecchie procuratie*, non sono andati soggetti a rilevanti alterazioni, mentre molti di quelli fondati per palificazione danno a divedere con moltiplici lesioni gli irregolari cedimenti del fondo, sul quale furono elevati.

§. 573. Sebbene la forza viva della percossa, la quale si esprime pel prodotto della massa nel quadrato della velocità del corpo percuziente (3), non sia paragonabile in termini matematici con una forza morta, o vogliam dire con una pressione, tuttavia è presumibile che sotto un certo aspetto si potesse fisicamente istituire il paragone di tali forze, tanto diverse per natura, e che potesse vantaggiosamente applicarsi all'esame della stabilità fondamentale d'un edifizio giacente sopra un fondo, di cui si fosse corretta la naturale instabilità o per mezzo d'una palificazione, o mediante la semplice battitura, come abbiamo testè indicato.

(1) *De l'art de bâtir* - Lib. V. sez. I. artic. II.
(2) *Traité de construction* - Lib. III. cap. II.
(3) Venturoli - *Elementi di meccanica ed idraulica* - Vol. I. lib. II. cap. XXVI.

In fatti è chiaro che la resistenza d'un fondo, fortificato con la palificazione, o con la semplice battitura, può essere espressa tanto da quella minima forza viva, quanto da quella minima pressione, che non valgono ad indurre verun sensibile abbassamento nei pali o nel terreno; laonde se per esperienza si conosca che un palo od un terreno battuto a rifinto d'un maglio di peso $P$, che all'istante della percossa abbia concepita la velocità $U$, sia capace di sopportare un peso non maggiore di chilog. $k$, senza dar segno di sensibile cedimento, si potrà arguire che per l'effetto considerato il peso $k$, sia equivalente alla forza viva dell'anzidetta percossa. E quindi se sieno $p$ il peso e $u$ la velocità acquistata nella discesa da un altro maglio, a rifiuto del quale sia battuto un terreno, ovvero una palificazione, chiamando $x$ il peso equivalente alla forza viva di cotesta percossa, sarà $x = \frac{k}{P U^2} \times p u^2$ il valore del peso che con sicurezza potrà essere addossato alla base battuta, senza pericolo di cedimento; o sia $x = C p u^2$ facendo per maggior semplicità $C = \frac{k}{P U^2}$.

§. 574. Questa formola della stabilità d'una palificazione o d'un terreno battuto, vale a dire del massimo peso, che può dall'una o dall'altro essere comportato senza pericolo di cedimento, affinchè potesse servire agli usi pratici, sarebbe d'uopo in primo luogo che coerentemente all'equazione della discesa verticale de' gravi ne' mezzi resistenti (1) ridotte al concreto per mezzo dei dati numerici somministrati dalle sperienze (2), si ponessero in essa formola in vece delle velocità $U$, ed $u$ i corrispondenti valori dati per l'altezza $A$, $a$ cui le medesime velocità sono dovute. Sarebbe poscia necessario d'aver in pronto i risultati di qualche autorevole sperienza, per cui si conoscesse il valore d'un peso $k$ corrispondente ad una data forza viva $P U^2$, per ricavarne il valor numerico del coefficiente $\frac{k}{P U^2}$; ed allora la formola sarebbe in istato di somministrare il valore della stabilità $x$ per qualunque dato valore del peso $p$, e della discesa $a$ del maglio, alle cui percosse il fondo è stato capace di mantenersi immobile. Ma l'accennate operazioni involgono non lievi difficoltà non meno per lo sviluppo de' calcoli, che per le sperimentali determinazioni; e sembra che non sia sperabile che possano

(1) Venturoli. *Elementi di meccanica e idraulica*. Vol. I lib. II cap. IV.
(2) *Ivi*. Vol. II lib. III cap. IX.

ridursi a quella semplicità e speditezza che si richiederebbero per le pratiche applicazioni. Altronde non può recar meraviglia se i tentativi, che taluni han fatto (1) per esprimere la forza della percossa con una pressione equivalente, hanno condotto a risultati inverosimili, e di gran lunga fra loro discordi, poichè in niun conto erasi tenuta la resistenza dell'aria, la quale contribuisce non poco a diminuire la velocità del maglio nella caduta, e l'impeto della percossa.

L'unico appiglio che rimane alla pratica per conoscere quanto possa calcolarsi sulla stabilità d'un fondo palificato o semplicemente battuto, è quello che si trae dall'osservazioni del Perronet già altra volta annunciate (§. 255). Risulta da tali osservazioni che un palo del diametro di m. 0,25 battuto a rifiuto de'magli, soliti ad essere adoperati in tali operazioni, dei quali si avrà proposito nel seguente libro, è capace di mantenersi saldo sotto un carico di chilog. 25000; e che un palo del diametro di m. 0,32 vale a sostenere un peso di chilog. 50000. In corrispondenza del primo di questi dati un terreno battuto a rifiuto di quei magli, che comunemente servono all'affondamento de'pali mezzani, potrebbe essere stimato capace di tenersi immobile sotto un carico non maggiore di chilog. 5091 per ciascun decimetro quadrato della base; ed a norma del secondo la stabilità d'un terreno battuto a rifiuto dei più pesanti magli, di cui è solito farsi uso, potrebbe valutarsi di chilog. 6821 per decimetro quadrato. La prudenza suggerirebbe invero di non mettere a tali estreme prove la resistenza d'un fondo, per quanto saldo si fosse mostrato sotto i colpi de'più pesanti magli; ma per buona sorte le condizioni delle fabbriche anche più imponenti ordinariamente son tali, che producono sulle basi fondamentali dei muri de'carichi ben di molto inferiori degli addotti limiti. Si può calcolare che per una fabbrica alta m. 20 le basi fondamentali dei muri, in grazia dell'abbondante ampiezza che suol assegnarsi alle costruzioni de'muri medesimi, non vengano a risentire che un carico di chilog. 300 circa per ogni decimetro quadrato, comprensivamente al peso de'solai, e de'coperti; la qual pressione, conforme osserva il Rondelet (2), può stimarsi all'incirca equivalente alla forza viva del già ricordato mazzapicchio a mano (§. 572) del peso di chilog. 50, agitato da due persone.

§. 575. Ove i rimedi diretti per correggere l'indole cattiva del fondo si giudichino inefficaci, ovvero non applicabili alle circostanze

(1) Rondelet - *Traité de l'art de bâtir* - Lib. V sez. I artic. II.
Sganzin - *Programmes ec.* Lez. XIX.

(2) Nel luogo precitato.

del sito, convien aver ricorso ai rimedi indiretti. Il più ovvio ed usitato si è quello di ampliare la base a segno, che il gravame equabilmente scompartito sopra di essa divenga incapace d'opprimerla; o quand'anche valga a produrvi qualche cedimento, possa questo aver luogo in modo uniforme in tutti i punti della base premuta, senza pericolo che questa perda la sua orizzontalità, e che ne derivino degli strapiombi o alterazioni d'altra sorta ne' muri soprapposti. A tale scopo tendono le graticole o zatteroni di legname, di cui demmo ragguaglio nel precedente libro (§. 381, 382). Un basamento o *platea generale* di muro, occupante tutta l'area corrispondente alla pianta dell'edifizio, e sporgente di più all'intorno quanto può essere stimato necessario, produce lo stesso effetto de' zatteroni. Fu questo il metodo, di cui sembra che più volontieri si valessero gli antichi; del quale abbiamo osservato essersi fatto felicemente uso un tempo a Venezia (§. 572); e che frequentemente è stato adoperato dai moderni costruttori all'opportunità dei casi, segnatamente nelle grandi fondazioni d'edifici marittimi e fluviatili. In tal guisa ci racconta il Belidor (1) d'aver veduto gittare i fondamenti d'uno de' moli della nuova darsena di Tolone; e non in altro modo ci fa sapere il Gauthey (2) essere stato fondato il ponte di Roanne sul fiume Loire. Nella fondazione del ponte di Moulins sul fiume Allier (3) fu prima disteso uno strato di terra argillosa alto m. 0,32 sul letto naturale espurgato, e spianato a livello; quindi sullo strato d'argilla fu assestato un suolo di tavoloni ben connessi l'uno con l'altro, e tenuto fermo al fondo con un carico provvisionale di sassi; dopo di che poste in azione le macchine per l'esaurimento dell'acqua dal recinto della fondazione, che a tal effetto era stato preventivamente chiuso per mezzo di ture (§. 408), fu costrutta una platea generale di muro in pietre irregolari alta m. 1,50, e coperta d'un suolo di pietre da taglio grosse m. 0,50, sul quale furono piantate le pile del ponte. Lo strato d'argilla ed il tavolato non ebbero altro scopo che quello di comporre una tura fondale per impedire le scaturigini dell'acqua dal fondo, mentre erasi prefisso di costruire a mano nei modi regolari il muramento della platea. Ma per lo più le platee generali nei luoghi ingombrati dall'acqua si costruiscono in bitume (§. 562), ed in tal caso non è d'uopo di ture nè fondali nè di cinta, e basta solo di recingere

(1) *Architecture hydraulique* - Lib. III cap. X sez. II.
(2) *Traité de la construction des ponts* - Lib. IV cap. I.
(3) Regemortes - *Description du nouveau pont de pierre construit à Moulins*.

il sito designato con paratie (§. 412), che impediscano il disperdimento della materia, e l'obblighino a star raccolta ed assodarsi entro il recinto, come dentro una forma. Nei siti non invasi dall'acqua il muramento della platea si eseguisce ne' modi ordinari senza particolari difficoltà.

§. 576. Le platee generali di muro offrono il modo più sicuro di fondazione negli alvei dei fiumi, e nel mare, quando il fondo non è abbastanza tenace per resistere alla forza escavatrice della corrente, come l'arena, e la ghiaia; sebbene potesse essere stimato incompressibile a modo di poter sostenere saldamente il carico dell'edifizio. In generale poi le platee d'opera murale sono preferibili ai zatteroni di legname, perchè questi è pur sempre da temersi che col tempo si fiacchino per la contaminazione della materia di cui sono formati, mentre con buon muramento di smalto con l'invecchiarsi divien ognor più duro (§. 556, 558), nè per veruna influenza vien mai ad alterarsi; e perchè inoltre la muratura si accomoda mentre è molle a qualunque irregolarità della superficie del terreno, onde si trova a quello appoggiata in ogni punto: mentre un tessuto di legname è ben difficile che si ponga ad un perfetto contatto del fondo, e che in qualche parte di esso non posi in falso, e sia quindi in pericolo di cedere sotto l'azione continuata del carico, che gli va sovrapposto. E sembra altresì potersi generalmente presumere che la stabilità fondamentale di un edifizio, quando si debba costrnire sopra un letto naturale di materia instabile, in nessun altro modo addiviene tanto sicura quanto con l'espediente d'una solida platea generale; atteso che le palificazioni, e la compressione artificiale del terreno, comunque eseguite a rifiuto di pesanti magli, non tolgono mai appieno il sospetto di posteriori cedimenti, avendo mostrato l'esperienza che talvolta i pali, quantunque alla prima sembrasse che spinti, ad una certa profondità, sfidassero l'impeto de' più gravi magli, passato un certo lasso di tempo non furono gran fatto restii ad entrar maggiormente in terra, venendo di bel nuovo sottoposti alla percussione. Se non che non di rado le circostanze del sito, in cui dev'essere eretto l'edifizio, oppongono ostacoli insuperabili alla costruzione d'una platea: o se non altro ne rendono soverchiamente malagevole e dispendiosa l'esecuzione; e costringono per conseguenza a preferire il sistema della fondazione per palificate sia di sostegno (§. 570), sia di condensamento (§. 572); le quali pure, quando sieno studiosamente accomodate alle condizioni del luogo, e della fabbrica, non lasciano di promettere quella stabilità fondamentale, che è il principale elemento della sicurezza di qualunque edificio.

§. 577. Fu già avvertito nel libro secondo (§. 383) che alcune volte

si rende utile ed anzi necessario di fortificare i zatteroni di fondazione con una cinta di pali e di palanche, sia per porre un freno a quei cedimenti, che potrebbero derivare dall' espansioni laterali del fondo sotto il carico dell' edifizio, sia per isviare i perniciosi effetti di quegli sconvolgimenti che il corso, o l' agitazione violenta dell' acqua potrebbero produrre nel fondo interno alle basi dei muri piantati nei fiumi o nel mare. In simili circostanze coteste fortificazioni giovano, e sono necessarie ancora intorno alle platee generali. Talvolta accade, che dovendosi fabbricare nel mare o in qualche fiume sopra un fondo incompressibile, ma pur capace d' essere sconvolto dai movimenti irregolari o vorticosi dell' acqua, come sono i fondi arenosi e ghiaiosi, senza che sia duopo nè di zatteroni nè di platea, basta soltanto di premunire all' intorno l' aree, sulle quali debbono erigersi le masse murali, con profonde e robuste incassature di pali e di palanche. E non di rado per maggior sicurezza, a fine d' impedire lo scouvolgimento del fondo intorno alle basi dei muri, esteriormente all' anzidette incassature, si piantano a qualche profondità dei lavori di fascinate o di rosta, di struttura conforme a quella che fu descritta nel libro primo, parlando delle difese delle ripe e degli argini (§. 37, e seg.). Che se la tròppa altezza dell' acqua si opponesse talvolta alla regolare costruzione di questa sorta di difese fondali, si potrà supplire circondando le basi de' muri con una *sassaia*, cioè con una corona di sassi sciolti, ma calati a fondo in modo che vadano tutti a stivarsi con buon ordine intorno al piede del muro, e scelti di tal volume che la forza della corrente, e de' suoi moti vorticosi non possa esser valevole a smoverli.

§. 578. Suppongasi una pietra di figura parallelepipeda rettangola, totalmente sommersa nell' acqua, e giacente sopra un piano inclinato all' orizzontale con l' angolo $\alpha$, in modo che due facce opposte di esso sieno parallele all' intersezione del piano inclinato con l' orizzontale, ed una di queste cioè, la superiore, venga direttamente investita dalla corrente con la velocità dovuta all' altezza $h$. Sieno $x$ la base del rettangolo direttamente percosso dall' acqua, $y$ l' altezza, e $z$ la lunghezza del solido; e dicasi $p$ la differenza fra la gravità specifica della pietra e quella dell' acqua, che è $= 1000$. La forza dell' urto dell' acqua sul parallelepipedo sarà espressa da $1000\ hxy$ (1), ed il momento della stessa forza per fare che il solido si rovesci ruotando intorno al lembo inferiore

(1) Venturoli - *Elementi di meccanica e d' idraulica* - Vol. II lib. III cap. V e VII.

della sua base sarà $1000 \frac{h x y^2}{2}$. Risolvendo il peso del solido in due forze una parallela alla linea, che determina l'inclinazione del piano con l'orizzontale, e l'altro perpendicolare al piano inclinato, facilmente si scorge che la prima cospira a promovere il rovesciamento del solido col momento $\frac{p x y^2 z \, sen. \omega}{2}$, e che la seconda si oppone alla rotazione del solido con l'altro momento $\frac{p x y z^2 \cos. \omega}{2}$. La condizione dell'equilibrio sarà dunque espressa dall'equazione

$$1000 h y + p z (y \, sen. \omega - z \cos. \omega) = 0.$$

la quale, quando sieno note le dimensioni del solido, l'inclinazione del piano, e la gravità specifica della pietra, farà conoscere l'altezza $h$ corrispondente alla massima velocità, con cui quel solido potrà essere investito dalla corrente senza venire rovesciato (1); ed in generale col sussidio della nota equazione $u^2 = 2 g h$, ove $g = 9{,}8088$ (2), darà modo di proporzionare, almeno prossimamente, la grossezza dei sassi alla velocità della corrente; affinchè le sassaie non abbiano a costruirsi di pezzi nè troppo piccoli, che la forza della corrente valga a smoverli ed asportarli, nè soverchiamente voluminosi che se ne renda malagevole, ed eccedentemente dispendioso il trasporto. Se per esempio si volesse sapere fino a qual limite di velocità d'una corrente potrebbe star saldo un sasso parallelepipedo lungo metri 0,3, alto met. 0,2, di cui la gravità specifica fosse 2000, supposto prossimamente orizzontale il fondo, sul quale giace, si troverebbe primieramente $h = 0{,}45$, e quindi $u = 2{,}97$; onde il cercato limite della velocità sopportabile dal considerato parallelepipedo di pietra sarebbe di m. 2,97 per minuto secondo. Che se si volesse supporre che il solido medesimo giacesse sulla scarpa d'una sassaia, inclinata a seconda della corrente, ed avente due di base per uno d'altezza; onde sarebbe $sen. \omega = 0{,}447$, $\cos. \omega = 0{,}894$; si otterrebbe l'altezza $h = 0{,}268$, a cui corrisponde una velocità di m. 2,29 per minuto secondo.

579. Diconsi muri *di sostruzione*, o piuttosto muri *di fondamento*, ed anche semplicemente *fondamenti*, e *sottomurate*, quelle infime parti delle

---

(1) Venturoli - *Elementi di meccanica e d'idraulica* - Vol. I lib. II cap. III.
(2) Gauthey - *Traité de la construction des ponts* - Lib. IV cap. III sez. II.

masse murali, che sono profondate più o meno nel suolo, e si appoggiano immediatamente al piano della fondazione, comunque apparecchiato coi metodi esposti, a norma delle circostanze. Nelle costruzioni idrauliche si dà la medesima denominazione alle parti inferiori de' muraglioni, che non emergono dal pelo magro di qualche fiume o del mare, entro cui l'edifizio è piantato.

Che i muri di fondamento abbiano a farsi generalmente più grossi di quelli, a cui essi debbono servir di base, è una massima notoria, di cui sono abbastanza evidenti i motivi e l'importanza. Dicesi *risega* quell'intervallo che passa fra il vivo d'un muro sopra terra, e quello del sottoposto muro di fondamento; denominazione che si applica poi anche a qualunque altro caso in cui un muro giace sopra ad un altro di maggior grossezza, senza interposizione di cornice o di fascia sporgente. Varie sono le regole insegnate dai maestri dell'arte intorno alla maggior grossezza da assegnarsi ai muri di fondamento. Vitruvio (1) stabiliva che dovessero farsi di grossezza doppia di quella che compete ai muri appiedi dell'edifizio, dipendentemente dai rispettivi uffizi, come diremo in appresso; alla quale opinione si uniformarono alcuni moderni maestri di architettura. Altri stimarono che bastasse di assegnare ai muri di fondamento una grossezza fra i quattro terzi, e i cinque quarti di quella de' muri sopra terra; inculcando per altro di soprabbondare di molto nella grossezza de' fondamenti delle torri, e di qualunque altra fabbrica di straordinaria altezza. Più positivamente il Belidor (2), osservando, a giusta ragione, che quanto più sono alti i muri tanto più è d'uopo che sieno ampie le masse fondamentali a cui si appoggiano, ha suggerito che per quei muri che non sono più alti di m. 6,50 lo sporto o sia la risega nel fondamento debba essere di m. 0,11 per parte, e così in proporzione pei muri più alti; così che a cagion d'esempio, per quelli che hanno di altezza m. 16, da ciascuna parte, l'aggetto del fondamento dovrà essere di m. 0,27. Ma importa per questo punto che non solo si abbia riguardo all'altezza dei muri, ma ben anche alla condizione naturale del fondo, e alla resistenza, di cui può esser capace, in ragione dei mezzi messi in opera per fortificarlo; essendosi già avvertito (§. 381,575) come contribuisca indirettamente alla stabilità fondamentale d'un edifizio il difenderne il gravame sopra una ampia base. E principalmente conviene d'ingrossare i fondamenti in

(1) Lib. III cap. III.
(2) *La science des ingenieurs* · Lib. III cap. IX.

tutte quelle parti, sulle quali si rivolge il maggior carico, ed ove ogni sconcio sarebbe più pernicioso, cioè sotto i piedritti delle volte, e sotto gli angoli o le concorrenze dei muri. Ovunque poi qualche muro sia destinato a sopportare una spinta orizzontale sia dall'acqua, sia da un terrapieno, sia da una volta, a cui debba fare spalla, non impropriamente si suggerisce che tutta la maggior grossezza del fondamento, o la più gran parte di essa, si faccia sporgere a formar risega dalla parte opposta a quella, da cui viene la spinta, mentre ne' muri premuti soltanto nella direzione verticale a buona ragione quella maggior grossezza si dispone, come abbiamo testè veduto, a produrre due riseghe uguali, una per parte.

§. 580. I muri di fondamento debbono rigorosamente essere costrutti con tutte quelle medesime cure ed avvertenze, che vedremo nel capo seguente essere necessarie per la solida riuscita de' muri sopra terra; ed è sommamente biasimevole la pratica abusivamente introdottasi di fabbricare i fondamenti, come dicesi, a *sacco*, vale a dire versando alla rinfusa la malta e le pietre nel cavo della fondazione, senza veruna manuale diligenza. Si avrà cura che la costruzione del fondamento progredisca ugualmente in altezza per istrati regolari su tutta l'estensione dell'impianto; affinchè l'asciugamento ed il costipamento della muratura succedano per tutto in modo equabile, nè abbia a temersi che le parti superiori de' muri abbiano poi a soffrire disgiunzioni, o altri sconci, pel non contemporaneo ed irregolare assettamento delle varie parti della sottomurata. Ed è pure commendevole l'uso di lasciare in riposo i fondamenti quanto basta perchè si assodino e si assettino, prima di addossare ad essi il carico de' muri superiori.

§. 581. Si esposero nel libro secondo i diversi espedienti, di cui l'arte si giova per l'effettiva costruzione de' muri di fondamento entro l'acqua del mare, d'un lago, o d'un fiume. Svanisce ogni difficoltà, e si procede alla costruzione delle sottomurate coi metodi ordinari della struttura murale, quando le circostanze consentono lo stabilimento delle ture per la formazione degli stagni, e l'esaurimento dell'acqua nel recinto di questi (§. 408 e seg.). Si costruiscono i muri fondamentali a sacco entro l'incassatura delle paratie (§. 412, 413), ovvero col sistema de' cassoni (§. 388 e seg.), secondo le varie circostanze de' casi, allorchè l'operazioni della chiusura a stagno e dell'esaurimento dell'acqua si riconoscono ineseguibili, o eccessivamente dispendiose. Non ci resta che di addurre a questo proposito un altro temperamento, che è quello delle fondazioni a scogliera detto anche dai Francesi *a pietre perdute*. Consiste nel radunare quantità di scogli di mole ragguardevole sull'area della fondazione, gli uni addosso agli altri, fino ad un metro circa sotto

il livello dell'acque magre, in guisa che la tenue falda fluida soprastante non possa impedire che si formi sulla scogliera una massa unita di muramento in bitume e sassi fino a m. 0,3 circa sotto il pelo magro; ove spianatane la sommità a livello, si potrà stabilire il primo letto di pietra da taglio, destinato a ricevere sopra di se fuori dell' acqua la continuazione della muratura coi metodi regolari. Questo modo di fondazione è particolarmente usitato nelle costruzioni de' grandi muraglioni o moli de' porti sulle spiagge del Mediterraneo. Nel seguente libro avremo proposito dei mezzi adattati ad eseguire il trasporto ed il regolare annegamento degli scogli per questa sorta d' operazioni. Ora ci limiteremo ad addurre le norme più essenziali circa la forma e la struttura di queste scogliere, seguendo i documenti del Belidor (1), il quale si è magistralmente diffuso intorno ad ogni sorta d' operazioni, appartenenti alla fondazione dei grandi edifici idraulici.

1.° Si segna in mare il contorno della scogliera coi metodi della geodesia, in corrispondenza del piano e de' disegni dell' opera, disponendo in forma di segnali dei galleggianti di sughero, i quali non possono cangiar di posizione, atteso che ciascuno di essi è ritenuto da una funicella legata ad un sasso mandato a fondo a sito opportuno. Agli angoli si piantano de' pali, ed a questi si raccomandano delle pertiche prominenti, con biffe o banderuoli nelle sommità, acciocchè questi punti principali sieno visibili anche ad una certa distanza per norma dell' operazioni.

2.° Si espurga il fondo entro il segnato recinto dell' opera, adoperando a tal uopo i grandi cavafanghi marittimi, di cui si parlerà nel seguente libro, e ciò a fine di rimovere la materia limacciosa, la quale renderebbe la scogliera soggetta a troppo forti, e pericolosi assettamenti.

3.° Acciocchè la scogliera riesca stabile contro l' agitazione del mare è d' uopo che le sue sponde abbiano una scarpa del due almeno di base per uno d' altezza. Gli scogli si debbono mandare a fondo con ordine tale, che se ne formino come tanti strati gli uni sugli altri.

4.° Si deve procurare che gli scogli più grossi prendano posto sulle sponde della scogliera, serbando quelli di minor mole per la riempitura intermedia. I vani fra scoglio e scoglio debbono riempirsi di pietrame minuto.

5.° Possono negli strati più bassi della scogliera impiegarsi degli scogli di minor volume di quelli che debbono adoperarsi più in alto, ove la violenza dell' acqua è maggiore nelle burrasche. L' esperienza ha dimostrato che, anche nelle più burrascose agitazioni, l' acque si mantengono

(1) *Architecture hydraulique*. Parte II. lib. III. cap. X.

quasi in una perfetta calma alla profondità di otto metri sotto la superficie del mare, e che quivi per conseguenza le più piccole pietre sono capaci di rimanersi immobili; e che alla profondità di cinque e di quattro metri il turbamento dell'acqua è ben poco sensibile, aumentandosi poi a dismisura l'impeto dell'onde verso la superficie dell'acqua.

6.° Avanzata la scogliera fino ad un metro, o poco più sotto il pelo basso del mare, e colmatine gl'interstizi con sassi minuti, si deve lasciar passare un anno prima di venire alla costruzione della piattaforma in muramento di bitume, affinchè in questo tempo per le scosse del mar tempestoso gli scogli prendano le posizioni più confacenti al vicendevole loro contrasto, ed il sistema giunga perfettamente ad assettarsi.

7.° In sommità della scogliera si costruirà la piattaforma, versandovi prima uno strato di bitume composto di arena, pozzolana, calcina viva, e piccioli sassi della grossezza d'una noce, che vada ad insinuarsi fra gli scogli ed il pietrame, e quindi stendendovi sopra dei sassi un poco più grossi, calcati con una zappa piatta, affinchè si conficchino nel bitume; ripetendo successivamente quest'alternativa disposizione di bitume e di sassi fino a m. 0,3 circa sotto il pelo magro, ove si conguaglierà a livello l'ultimo strato superiore, sul quale dev'esser posato il primo letto del muramento in pietra da taglio. Pel versamento del bitume, affinchè questo non si sciolga traversando la falda fluida, si fa uso di mastelli a fondo amovibile, o di altri opportuni ordigni de'quali si dirà nel seguente libro.

§. 582. Si costruiscono anche delle scogliere in mare, non per fondamento, ma per fortificazione de'moli o muraglioni contro il furore delle burrasche. Al porto di Civitavecchia si erano sempre difesi il molo di Levante, e l'antemurale, che sono i più minacciati dalle tempeste, per mezzo di scogliere esterne, composte di piccioli scogli sciolti, i quali dal mar tempestoso venivano scompaginati, e molti di essi trascinati ad ingombrare le bocche, onde continua era la necessità e di rinforzar la difesa, e di sbarazzare le foci del porto. Ma da che da parecchi anni, con lo stabilimento d'imponenti macchine da trasporto, si è incominciato ad impiegare scogli di maggior mole, alcuni perfino dell'enorme volume di m. c. 30, e si è introdotto l'uso di legare insieme i massi, murandoli con malta di pozzolana, dopo di aver lasciato tempo all'agitazioni del mare di porli nel più stabile assetto, le scogliere son divenute per così dire inespugnabili, e non v'ha esempio che neppure uno scoglio sia più stato svelto ed ingoiato dal mare.

§. 583. Ai muri di fondamento giova in alcuni casi di frammettere delle arcate talora dritte, talora anche a rovescio, cioè con la concavità rivolta all'insù. La struttura di tali arcate non esige regole diverse da

quelle, che appartengono agli archi, o alle volte sopra terra, delle qnali ci riserbiamo a trattare in uno de' seguenti capitoli. Ci basterà qui di avvertire quali vantaggi si possano ottenere dall' uso di coteste arcate di fondamento.

L' arcate dritte offrono talora nn facile espediente di disimpegno, quando qualche intervallo di fondo cattivo giace fra due saldi punti d' appoggio sulla linea della fondazione d' un muro: poichè senza ricorrere ai dispendiosi temperamenti, o di cercare il fondo sodo a molta profondità per piantarvi sopra il fondamento immediatamente, o con una palificazione di sostegno, ovvero di rimediare all' instabilità naturale del terreno con nna palificazione di condensamento, o con l' uso de' zatteroni, basterà di gittare una robusta arcata dall' uno all' altro de' laterali stabili appoggi, sulla qnale i muri superiori saranno non meno sicuri che se giacessero sopra un fondamento continuato. Quando poi la fondazione d' un muro dev' eseguirsi, per quanto è lungo, sopra un fondo sodo bensì, ma giacente a molta profondità sotto la snperficie del suolo; sia nel caso che si voglia adottare la fondazione immediata per escavazione, sia in qnello di dover giovarsi d' una palificazione di sostegno; è facile a vedersi che si avrà un gran risparmio di lavoro e di spesa se, in vece d'una fondazione continuata, si fonderanno a discreta distanza l'uno dall'altro dei robusti piloni, e si costruiranno fra questi dell' arcate, le quali suppliscano all' interruzione de' piedritti fondamentali.

L' espediente dell' arcate a rovescio fu insegnato da Leon Battista Alberti (1), ed è stato messo in pratica per la fondazione del colonnato interno nel tempio di santa Genneffa a Parigi (2). Esso si addice a quei casi nei quali una serie di colonne o di piloni di qualunque forma deve essere eretta sopra nn fondo di non sicura consistenza. Spinti fino a giusta profondità i muri di fondamento sotto ciascuna colonna, o ciascnn pilone, si costruiscono nei singoli intervalli degli archi a rovescio, come si osserva nella fig. 213, i quali evidentemente fanno sì che la pressione verticale, esercitata dalle colonne sulle basi, si espande eqnabilmente sopra tutta qnella striscia di terreno, che è coperta e dalle basi e dall' interposte arcate, onde alla debolezza del fondo vien ad essere contrapposto un rimedio indiretto, analogo a quello delle platee generali (§. 575), e altronde più economico, poichè, stante il contrasto reciproco dell' arcate e de' piedritti, non può temersi d' uno schiantamento per traverso, e qnindi può aversi l' intento con molto minor volume di muramento,

---

(1) *De re aedificatoria* - Lib. III cap. V.
(2) Rondelet - *Traité de l' art de bâtir* - Lib. V sez. I artic. II.

di quello che sarebbe necessario per la costruzione d'una platea ordinaria di sufficiente grossezza.

## CAPO VI.

### *Della struttura murale.*

§. 584. I muri sono generalmente formati o con pietre naturali, o con pietre artefatte (§. 492). Nel primo caso diconsi *muri di pietra*: nel secondo caso *muri laterizi*. Se le pietre naturali sono tagliate regolarmente e ridotte alla figura parallelepipeda rettangola, ovvero cuneiforme, secondo le regole della sterotomia, corrispondentemente alle forme geometriche del muro da costruirsi, la struttura dicesi *in pietra da taglio*, ovvero *in pietra squadrata* ed anche *in pietra concia*. Quando le pietre sieno lasciate nelle forme irregolari, con cui escono dalla cava, corrette col taglio semplicemente quanto basta per ridurle a modo, che nella struttura ciascuna pietra possa trovarsi chiusa combaciata da ogni parte dall'altre che la circondano, il muro dicesi *d'opera incerta*. Che se sono poste in opera informi e grezze senza il menomo apparecchio il muro dicesi *di pietrame*; e si distingue con la denominazione di *scogliera* quando è composto di pietre informi d'ingente mole (§. 581). Muro *cementizio* chiamasi quello che è costrutto di minute scaglie o frammenti di pietre.

I muri laterizi si distinguono in *muri di mattoni*, e *muri di rottami* più comunemente denominati *muri di tevolozza*. I primi sono formati di mattoni interi, i secondi di frantumi di laterizi, ricavati dalle ruine o dalle demolizioni d'antiche muraglie.

Diconsi muri di struttura *mista* quelli, nei quali trovansi combinate in un modo o in un altro le varie specie di struttura che avevamo finora enumerate.

§. 585. In ordine alla struttura in pietra da taglio gli articoli che importa di considerare sono 1.° l'apparecchio o sia il taglio delle pietre; 2.° la disposizione delle pietre conce nella composizione delle masse murali; 3.° l'effettiva costruzione; 4.° i mezzi opportuni di collegare le pietre indipendentemente dalla virtù congiuntiva delle malte. Ci fermeremo ora a prendere distintamente in esame cotesti articoli, particolarmente per quanto appartiene ai muri comuni, o di piedritto (§. 493), i quali per la loro forma si tengono da se in equilibrio sopra una base orizzontale, e sono terminati all'intorno da facce piane verticali o inclinate a scarpa verso il centro di gravità del solido murale, riserbando ad altro capitolo quelle più speciali considerazioni, che concernono

i muri a volta; i quali non possono sussistere senza il contrasto de' laterali piedritti, cui solo insistono le loro estremità, essendo affatto abbandonato o sospeso tutto il tratto intermedio.

§. 586. La determinazione dei tagli da eseguirsi sulle masse di pietra, o di legno sotto stabilite condizioni geometriche e meccaniche, a norma delle varie occorrenze dell' arte di fabbricare, costituisce l' oggetto della sterotomia, ed è fuori dei confini assegnati a queste istituzioni. Il taglio materiale delle pietre, dietro le tracce segnate con le regole sterotomiche, si eseguisce o con la sega de' tagliapietre, dividendo un masso in due o più parti, adattate a diversi usi, ovvero levando in iscaglie le parti superflue di ciascun rocchio, per ridurlo alla forma e alle dimensioni occorrenti, conforme fu già spiegato in addietro (§. 508). Quelle facce delle pietre, che debbono comparire alle superficie dei muri, vogliono essere ridotte a pelle piana, a meno che non si tratti di qualche edificio a cui si convenga, pel suo carattere, un esteriore semplice, e grave, nel qual caso non di rado le facce esterne delle pietre si lasciano rozze. Ma le facce interne, quelle cioè in cui le pietre debbono essere poste a contatto l' una dell' altra, acciocchè la struttura possa acquistare la maggior perfezione e stabilità, è duopo che sieno non solo ridotte a pelle piana, ma squisitamente appianate con una scrupolosa ossatura, siccome appunto si scorge nell' anfiteatro Flavio, e in altri classici monumenti, essere stato praticato dagli antichi. Questi costumavano anzi di non appianare preventivamente se non che le facce interne delle pietre, e l' esterne erano poi dagli artefici ripolite, quando la costruzione de' muri era compita, per evitare il pericolo che i cigli ridotti a perfezione non si scheggiassero nel maneggiare le pietre per metterle in opera. Ed in questa guisa le commessure divenivano pressochè impercettibili, e l' opera sembrava formata quasi tutta di getto (1).

§. 587. Nella struttura de' muri comuni in pietre da taglio, queste, come già si è avvertito (§. 584), sono ridotte generalmente alla forma di parallelepipedi rettangoli. Nella disposizione delle pietre deve principalmente aversi per iscopo d'ottenere un sistema, in cui le parti componenti sieno così combinate e concatenate, che si tengano a freno l' une con l'altre, in guisa che la mole riesca quasi indissolubile. La disposizione deve quindi necessariamente essere regolata a norma delle dimensioni de' massi lavorati che diconsi *conci*, e della grossezza del muro. In generale la prima regola da osservarsi si è, che le commessure verticali sieno discontinuate, vale a dire che il piano verticale, in cui due conci si combaciano, non abbia mai a collimare col combaciamento verticale di due

(1) Milizia - *Principii d' architettura* - Parte III lib. III cap. I.

altre pietre giacenti immediatamente sotto o sopra alle prime. Deesi altresì procurare che i conci sieno sempre posti a giacere sulla più ampia delle loro facce. E quando si tratta di pietre per natura stratiformi (§. 500), importa anche d'osservare che i conci vengano collocati in opera in una positura corrispondente a quella della naturale stratificazione della pietra (1).

§. 588. La struttura in pietra da taglio si può distinguere in *regolare* ed *irregolare*. La prima consiste in una serie d'ordini di pietre parallelepipedi, sovrapposti orizzontalmente gli uni agli altri, tutti d'una medesima altezza, ovvero d'altezze diverse; purchè però sieno ugualmente alti i conci, componenti uno stesso ordine. In arte gli ordini orizzontali delle pietre, che si succedono gli uni sugli altri nella struttura d'un muro, diconsi *corsi*, ed anche *filari*. La struttura irregolare è quella, in cui i parallelepipedi non sono ordinati per corsi regolari, ma avendo altezze molto variate, si dispongono combinando le loro dimensioni nel modo più consentaneo alle norme generali, poc'anzi inculcate (§. 587).

§. 589. La grandezza dei conci destinati alle costruzioni dipende dalla qualità della pietra, e dal modo di cavarla. Per una struttura perfettamente regolare sarebbe d'uopo che le pietre fossero tutte ridotte ad uguali dimensioni, vale a dire a parallelepipedi tutti uguali fra loro. Ma questa riduzione molte volte esigerebbe un lavoro ed una spesa eccedente; e potrebbe produrre anche uno spreco strabocchevole di materia. Per lo che conviene non di rado accomodarsi ad una struttura meno regolare, la quale comporti l'impiego di pietre di varia grandezza. Ma nell'apparecchio di queste vuolsi pure avvertire che non addivengano di sproporzionata lunghezza, e quindi malagevoli a muoversi, e soggette a stroncarsi per qualche scossa nelle varie manovre, che occorrono per collocarle in opera. La proporzione delle dimensioni che si adatta alla maggior regolarità della disposizione, è quella in cui la lunghezza di ciascun parallelepipedo è doppia della larghezza, e questa uguale all'altezza. E pei casi d'una struttura meno regolare, o irregolare si prescrive dai pratici (2) che quando la pietra è di mediocre durezza la lunghezza dei conci abbia ad essere non più che tripla, e la larghezza non più che doppia dell'altezza; e che per le pietre più dure, ove l'altezza de' massi sia maggiore di m. 0,32, la lunghezza debba farsi al più

(1) Sganzin - *Programmes ec.* Lezione IX.
(2) Ibidem ec. Lezione VII.
Borgnis - *Traité élémentaire de construction* - Lib. II cap. I.

quintupla, e la larghezza doppia, o al più tripla dell'altezza. Ma queste non sono regole d'un assoluto rigore, e basta che vengano osservate con una discreta approssimazione. In ogni modo però la lunghezza dei conci non deve mai oltrepassare il sestuplo dell'altezza, fuorchè nelle lastre così dette di *coronamento*, come quelle che ricoprono i muri di parapetti, per le quali è permesso di deviare da questa regola, sempre che le lastre medesime sieno larghe quanto basta per coprire tutta la grossezza del muro.

§. 590. Esaminiamo ora in breve le varie maniere con cui possono esser disposti i massi quadrati nei muri di pietra da taglio di regolare struttura (§. 588).

1. Vedesi nella fig. 214 una disposizione, alla quale i Greci davano il nome *d'isodomo*, in cui i conci, essendo tutti perfettamente uguali, formano dei corsi, tutti della stessa altezza, ed ove la direzione di qualunque commessura verticale di due pietre d'uno stesso corso divide per metà una pietra dell'adiacente corso superiore, o inferiore. Cotesta semplicissima e regolarissima disposizione è peraltro confacente al solo caso in cui le pietre abbiano una larghezza perfettamente uguale alla grossezza del muro, onde questo possa essere composto d'un solo ordine verticale, o come dicesi praticamente, d'una sola *testa* di conci.

2. La fig. 215 mostra la disposizione delle pietre di un muro di grossezza uguale alla lunghezza, e doppia della larghezza di ciascuno dei conci tutti perfettamente uguali fra loro. I corsi sono tutti d'una stessa altezza, e le pietre di uno stesso corso presentano alternativamente all'esterno una faccia quadrata ed una rettangolare lunga il doppio; o sia una *testa*, ed un *fianco*. Quelle che mostrano il fianco diconsi collocate in *grossezza*, e di quelle che presentano la testa si suol dire che sono poste in *chiave*.

3. La disposizione rappresentata nella fig. 216 non differisce dalla precedente, se non perchè le pietre sono poste alternativamente tutte in grossezza in un corso, e tutte in chiave nel corso attiguo sia superiore sia inferiore. Cotesta disposizione è quella che si osserva nelle grandi sostruzioni del tabulario antico alle falde del monte Capitolino, sotto i fianchi e sotto la parte posteriore del presente palazzo senatorio.

4. Nella figura 217 si osserva un'altra disposizione in cui i parallelepipedi sono di due diverse grandezze. I più grossi hanno una larghezza uguale alla metà della grossezza del muro, e la lunghezza doppia della larghezza, i più piccioli hanno ciascuna dimensione uguale a due terzi della dimensione corrispondente delle pietre più grandi, in modo che la larghezza d'una pietra minore è uguale alla terza parte della grossezza del muro. I corsi sono alternativamente composti uno di pietre

maggiori, ed uno di pietre minori. La diversa grossezza delle pietre produce in questo sistema il necessario concatenameuto, quantunque ninna delle pietre sia collocata in chiave. Di tale disposizione, che i Greci chiamarono *psendeisodomo*, si offre un bell'esempio in Roma nella facciata del palazzo già Cafarelli a S. Andrea della Valle, opera dell'immortale Raffael d'Urbino.

5. Finalmente nella fig. 218 si mostra una disposizione imperfettamente regolare, quella cioè in cui l'altezza delle pietre è uniforme in uno stesso corso, ma i vari corsi sono diversamente alti l'uno dall'altro. La sezione verticale e trasversale del muro, delineato accanto e sotto il disegno del prospetto esteriore, danno a divvedere qualche vacuo interno, procedente dall'irregolari o disuguali larghezze delle pietre; difetto che si corregge con colmare quel vuoto con iscaglie di pietra murata in malta ordinaria.

§. 591. Un saggio della disposizione de'conci in un mnro di pietra squadrata di struttura irregolare (§. 588) può vedersi nella fig. 219. Non mancano esempi qui in Roma, negli antichi e ne'moderni edifici, di consimili irregolari disposizioni, adottate unicamente per evitare la dispendiosa operazione di ridurre i massi di travertino ad altezze uguali poichè gli strati naturali di questa pietra sono di grossezze assai varie; mentre per un'altra parte la pietra stessa assnme col tempo una patina così uniforme, che rende quasi indiscernibile le separazioni dei massi, ed ogni irregolarità della struttura.

§. 592. Per la costruzione effettiva de'mnri in pietra da taglio, supposto che le pietre sieno tagliate con la più scrupolosa precisione, nel che consisteva lo studio principale degli antichi (§. 586), non altro occorre che di collocarle diligentemente in opera con ordine e con disposizione conveniente, a norma delle dimensioni de'conci, e della grossezza e della figura del muro, a termini di quanto abbiamo fin qui avvertito. Gli antichi, esattissimi nel taglio e nella collocazione de'conci, senza far alcun uso di malta innalzarono superbe moli in pietra da taglio, delle quali que'miseri avanzi che scamparono dagl'incendi, dal furor militare, dal fanatismo e dalla rapacità, mostrano, dopo tanti secoli, tuttora oggidì l'originaria loro robustezza e perfezione. Delle costruzioni moderne in pietra da taglio le più perfette sono quelle fatte col metodo degli antichi. Ordinariamente per altro i moderni costruttori non curano così rigorosamente, come gli antichi, lo scrupoloso apparecchio della pietra, e per supplire all'imperfezione del taglio, costumano poi di murare i conci con malta: il qual metodo è più economico, e può anche produrre una discreta stabilità, purchè s'impieghi malta fina di buona presa, e si abbia cura che non resti alcun vano fra pietra e pietra, e che lo strato della malta nelle commettiture orizzontali sia di grossezza uniforme,

affinchè sia pure uniforme il suo ristringimento, nell'asciuttarsi sotto il peso delle pietre.

§. 593. Esporremo dunque in breve il modo di procedere regolarmente nella costruzione de' muri in pietra da taglio con questo moderno metodo, designato dai costruttori francesi sotto la denominazione di metodo a *bagno di malta*. Tutto si riduce a dire con quali preparazioni e con quali avvertenze debba ciascun concio essere collocato in opera. Importa prima di tutto che il concio venga posto a giacere sopra una base piana ed orizzontale; per lo che la prima operazione da farsi si è quella di spianare a livello le facce superiori delle pietre componenti l'ultimo filare, che si suppone già costrutto, sul quale il nuovo corso di pietre dev'essere immediatamente appoggiato. La perfetta riduzione di questo piano, che deve servire di *letto* al nuovo concio si riconosce per mezzo d'uno archipendolo, o d'una livella a bolla d'aria. Ciò fatto *si pone in prova* il concio, vale a dire si colloca a posticcio nel posto assegnatogli, e si esplora mediante il piombo, la squadra, e l'archipendolo, o la bolla d'aria, se le sue facce sono spianate a perfezione, per venire esattamente a contatto di quelle de' conci adiacenti; onde correggere quei difetti all'apparecchio, che in quest'accurata esplorazione si venissero a discoprire. Nè si procederà al collocamento stabile del concio prima che ne sia emendata ogni imperfezione. Allorchè poi si sarà riconosciuto in prova che il concio è apparecchiato, come si conviene, si toglierà dal posto, e quindi si netterà e si bagnerà il piano sul quale dev'esser posato, e vi si stenderà uno strato alto m. 0,18 circa, di malta composta di calcina e di finissimo cocciopisto, ovvero di polvere di marmo. Si copriranno pure d'un leggero strato della stessa malta le facce verticali de' conci vicini, con cui quelle del nuovo concio dovranno quadrare, e dipoi si rimetterà in opera il concio e si accomoderà nella giusta positura, con la scorta della riga, della squadra e dell'archipendolo, battendolo con un mazzuolo di legno, finchè tutta la malta superflua sia stata rigettata dalle commessure. E così uno dopo l'altro si pongono in opera i conci, e si viene di mano in mano avanzando nell'effettiva costruzione del muro. Quando questa è compita altro non rimane che di perfezionarne le fronti, radendo quelle parti esteriori de' conci, che per la esatta collocazione di essi si fossero dovute lasciare sporgenti dalla superficie dritta o inclinata del muro, levando dalle commessure quanto più addentro si può la malta impiegata nella costruzione, e stuccandole con altra malta fina ben internata, applicata a strati, e stropicciata con un lisciatoio di ferro più e più volte, finchè abbia acquistato tutta la possibile durezza.

§. 594. Declamano giustamente gli scrittori francesi contro il pessimo

stile de' triviali costruttori di Parigi, i quali mettono in opera i conci mal tagliati, senza correggerne i difetti, ponendovi sotto delle zeppe di legno grosse più o meno, così che le facce esteriori, o sia i frontali delle pietre, che volgarmente chiamansi *paramenti*, si trovino esattamente nel piano della fronte del muro, ad onta delle irregolarità dell' apparecchio. Ed affinchè il collocamento in opera divenga più spedito, e le commessure compariscano strette all' esterno, sogliono scarnar sotto i conci, lasciando intatta una sola striscia della larghezza di circa 27 millimetri, lungo il ciglio frontale; in guisa che al di là di questo lembo, nell' interno della costruzione, le commettiture orizzontali hanno sovente un' altezza di presso a tre centimetri. Queste commessure vengono riempite d' una malta liquida di gesso, o di calcina, che vi s' introduce mediante una stecca di ferro, e vi si trattiene finchè è molle con un'inzeppatura di stoppa, o di filacciche, la quale si toglie tosto che la malta ha preso corpo. Nasce da questo cattivo metodo che quando la malta si è costipata i conci non da altro sono sostenuti che dalle zeppe sottoposte, onde posano quasi del tutto in falso, il che bene spesso è cagione che si spaccano alla metà della loro lunghezza, ovvero, ciò che è peggio, si aprono parallelamente alla faccia frontale. I gravi patimenti dei piloni della gran cupola del tempio di santa Genueffa, che misero in forse la sussistenza d' uno fra i più insigni monumenti della metropoli della Francia, e per cui divenne indispensabile la totale rinnovazione de' piloni medesimi, non ad altro si dovette attribuire che ai moltiplici sconci derivati dall' esposto riprovatissimo metodo di costruzione (1). Questo per altro è colà da lungo tempo proscritto ne' pubblici lavori di ponti e strade, in cui non sono ammesse, che le più sane pratiche dell' arte: onde si ammira la solidità, e la perfezione di tanti ponti, e di tante altre grandi opere pubbliche di vario genere, in pietra da taglio, in ogni parte di quella vasta e floridissima monarchia.

§. 595. Per la maggiore stabilità delle grandi costruzioni in pietra da taglio sieno a secco, sieno a bagno di malta, giova che i conci sieno artificiosamente collegati, in guisa che l' uno non possa disgiungersi dagli altri se non ruina l' intera mole del muro. Due sono le maniere d' allacciare insieme i conci: cioè i perni di metallo, e l' incassature scambievoli. Gli antichi si valsero or dell' uno, or dell' altro di cotesti espedienti. I perni di ferro o di bronzo sono posti alcuni orizzontalmente, e servono ad unire l' une con l' altre le pietre d' uno stesso corso; altri

---

(1) Sganzin - *Programmes ec.* - Lezione VII.

verticalmente e producono il collegamento di ciascun concio con quelli del filare superiore e del filare inferiore, di cui esso trovasi a contatto. Ciascun perno è inserito metà nell'uno e metà nell'altro de' conci, cui deve tenere uniti; cioè ne' fori appositamente fatti in essi conci in corrispondenza l'uno dell'altro, normalmente alle due facce, che debbono venire a vicendevole contatto. Così fatto sistema d'impernature si dimostra nella fig. 220. Nei maestosi muri in pietra da taglio dell'anfiteatro Flavio appariscono innumerabili vestigi di simili impernature in tutti quei deformi squarci, pei quali l'avidità d'un vilissimo guadagno si è fatto strada ad estirpare i perni metallici dalle recondite loro sedi. Dicesi che gli antichi in vece de' perni metallici ne abbiano adoperati talvolta anche di legni durissimi, e perfino d'ossa d'animali.

§. 596. Nella figura 221 vedesi l'ingegnoso artifizio col quale vennero apparecchiate e disposte le pietre in alcuni muri del teatro di Marcello, acciocchè fossero incassate l'une nell'altre, e formassero, senza alcun soccorso di perni, un sistema indissolubile. Di tali muri sussistono tuttora alcuni avanzi fra le ruine di quel classico monumento. La faccia superiore, e così pure l'inferiore di ciaschedun concio è divisa in quattro parti uguali da due linee ortogonali ai lati del rettangolo, condotte pel centro della figura. Due di queste parti opposte al vertice sono incavate ad angolo retto fino alla profondità di circa m. 0,054; le due altre sono piene. Alle parti piene della faccia superiore corrispondono le incavate della faccia inferiore. Coteste pietre disposte l'une sull'altre per la forma del loro apparecchio riescono tutte scambievolmente incassate e concatenate, scorgendosi manifestamente, che ciascuna di esse tagliata e collocata come si dimostra nella figura, si viene ad immorsare con due del corso superiore, e con due altre del corso inferiore, con tale contrasto di parti, che rende impossibile qualunque mossa della pietra sia nel senso della lunghezza, sia in quello della grossezza del muro. Nè ci dilungheremo ad addurre altre maniere con cui i conci potrebbero essere apparecchiati ad incassarsi gli uni negli altri nelle costruzioni di pietre squadrate. Avvertiremo bensì che questo sistema d'incatenare i conci per via di risalti, e d'incavi corrispondenti, che compenetrandosi debbano servir di ritegno ai conci medesimi, quando sono in opera, rende più difficile l'apparecchio e il collocamento delle pietre; e se le parti salienti e rientranti non sono in perfetta corrispondenza può accadere, che in qualche punto le pietre non vengano a contatto, e posino in falso, e quindi che quello stesso temperamento, col quale s'intendeva a consolidare il sistema, divenga insieme la causa d'inutile accrescimento di spesa e di viziosa costruzione. Avvedutamente

per ciò consiglia lo Sganzin (1) che debbasi anteporre l'espediente dei perni metallici a quello delle scambievoli immorsature de' conci, suggerendo, che specialmente nei muraglioni marittimi in pietra da taglio, che son destinati a far fronte alla furia delle burrasche, s'incateni ciascun filare con una forte spranga di ferro, incassata sulle sommità di tutti i conci che lo compongono, e assicurata a ciascuno di essi con un perno anche esso di ferro, e che i filari sieno di più legati fra loro mediante lunghi paletti di ferro verticali che traversino due o tre corsi consecutivi, passando per i fori fatti a bella posta nelle pietre e nelle spranghe orizzontali.

§. 597. Le lastre che formano il coronamento d'alcuni muri, come quelli di parapetto, si collegano esse pure o ad impernatura o ad incastro. La figura 222 rappresenta diverse maniere di tali collegamenti. In A si dimostra una commettitura formata con semplici arpesi di ferro (§. 459.): si vede in B un collegamento a semplice incastro triangolare: in C un collegamento con incastro dritto a maschio e femmina: in D un incastro a coda di rondine: finalmente in E apparisce un altro incastro, o tassello a doppia coda di rondine.

Il collegamento delle lastre per mezzo d'arpesi di ferro è il più semplice ed il più usitato. Fra i collegamenti ad incastro quello triangolare rappresentato in A è il più facile di tutti, ed è quello che per la semplicità della sua forma è più suscettibile d'esattezza e di sicura stabilità.

§. 598. Appartiene alla classe dei muri in pietra di taglio quella struttura, che è denominata dai Francesi *maçonnerie de liboges*, vale a dire *muramento di massi*, la quale si usa nei fondamenti degli edifici idraulici. I massi in questa sorta di costruzioni non si sottomettono ad un taglio regolare, ma si riducono solo grossolanamente alla forma di parallelepipedo, riduzione che per lo più suole eseguirsi alle cave. Si dispongono cotesti massi orizzontalmente gli uni sugli altri in guisa che le commessure verticali riescano alternate più che sia possibile, e si murano con molta copia di malta, affinchè questa riempia tutti gli smanchi delle pietre, e le tenga unite. Si battono poi di mano in mano con pesanti magli, affinchè in opera prendano l'assetto conveniente sul letto della malta, e si stringano gli uni agli altri per quanto lo consente l'irregolarità della loro forma.

§. 599. I muri d'opera incerta (§. 584), dei quali si dà un esempio

(1) Sganzin - *Programmes ec.* - Lezione VII.

nella figura 223, sono composti di massi irregolari e disuguali, senza altro apparecchio che quello di appianarne le facce; disponendoli studiosamente a modo che le individuali forme di ciascun masso corrispondano a quelle de' massi che lo circondano, così che niun vano o interrompimento rimanga nella struttura, e segnatamente nelle fronti de' muri. Cotesta disposizione è analoga a quella dell'antiche selciate romane a massi poligoni di lava basaltina, di cui facemmo menzione nel libro primo (§. 119). I monumenti della più remota antichità della Grecia e del Lazio ci offrono singolarissimi esempi di muraglie d'opera incerta, formate di smisurati massi mirabilmente disposti senza alcun vestigio di malta. Son desse le famose muraglie *ciclopiche*, così chiamate sia per denotare l'epoca antichissima della loro costruzione (1), sia per alludere alla lucerna portata in capo dai minatori, dai quali dicesi che i Pelasgi facessero costruire di siffatte opere (2), o per qualunque altra ragione, secondo le vaghe congetture de' sapienti archeologi.

Sarà grato agli studiosi d'osservare nella fig. 224. un bel modello di struttura ciclopica, tuttora esistente negli avanzi dei muri dell'antica cittadella posta sulla sommità del monte Circeo. Il pezzo di muraglia, di cui si esibisce il disegno, comprende l'unica porta A che dava ingresso alla cittadella, il di cui architrave B lungo più di due metri, largo met. 1,20 e grosso m. 0,70 circa, giace ora rovesciato sul terreno. Il masso C, più grande di tutti gli altri, ha una lunghezza poco meno di tre metri. A destra in X mostrasi la sezione verticale del muro, presa sulla linea EF, e a sinistra in Z la sezione fatta a traverso il vano della porta sulla linea MN.

Tutta l'arte della costruzione de' muri d'opera incerta consiste nel combinare avvedutamente le pietre, a norma della più esatta corrispondenza scambievole delle loro facce, a fine di conseguire quella continuità e quel legame, che sono l'essenziale condizione della stabilità, e della perfezione di tali muri. Afferma il Palladio (3) che gli antichi adoperavano a tal effetto una specie di squadra di piombo, che poteva allargarsi e ristringersi secondo il bisogno, per mezzo della quale diveniva facile di confrontare gli angoli e i lati de' vari massi, a fine di poterli disporre nell'ordine più confacente alla condizione poc'anzi espressa. Nell'architettura moderna la struttura d'opera incerta è andata onninamente in disuso.

---

(1) De Fortia d'Urban - *Discours sur les murs saturniens ou ciclopéens* - Rome 1813.
(2) Hirt. *Geschichte der Baukunst bey den Alten* Berlin 1820.
(3) *Li quattro libri d'architettura* - Lib. I cap. IX.

§. 600. I muri di pietrame (§. 584) quando sono composti di grossi scogli diconsi scogliere; ed abbiamo già veduto quali sieno le occasioni alle quali ne conviene l'uso, e quale sia il modo di costruirle (§. 581). I muri ordinari di pietrame, chiamati anche muri di sassi, sono formati di frantumi di pietra affatto grezzi ed informi. Questa sorta di struttura non comporta una disposizione a corsi regolari, atteso la disuguaglianza della forma e della grandezza de' sassi. Importa tuttavia che il muramento si venga innalzando uniformemente a strati orizzontali, affinchè i sassi in ciascuno strato possano essere studiosamente aggiustati, talmente che compongano un sistema stretto e concatenato, per la più acconcia combinazione delle varie loro forme e dimensioni; ed acciocchè l'assettamento in tutte le parti sia gradatamente contemporaneo ed uniforme. Prima di por mano alla costruzione di uno strato di muratura deesi nettare, se bisogna, la sommità dello strato inferiore dalla terra o da qualunque altra materia che vi si fosse raccolta; e quindi dopo d'averla inaffiata d'acqua, vi si stende un suolo di malta, che forma il letto del nuovo strato da costruirsi. Si nettano i sassi, e s'inzuppano nell'acqua, affinchè non abbiano ad assorbirne in opera di quella, che è contenuta nella malta; poichè questa inaridendo intempestivamente non fa così buona presa in se, e con le pietre, come quando si asciuga, e si assolida lentamente sià per la semplice evaporazione, sia per qualche chimica mutazione di stato dell'acqua, e per qualche nuova combinazione de' suoi principii costitutivi con le sostanze di cui è formato l'impasto. I sassi bagnati si dispongono accuratamente gli uni presso gli altri, riempiendo i vani, prodotti dalle loro irregolarità, di minute scaglie, e di copiosa malta, e battendoli ad uno ad uno con la martellina, sicchè giungano a porsi nel più solido assetto.

Le pietre calcaree stratiformi si prestano ad una disposizione meno irregolare, e che più si accosta a quella de' muri in pietra squadrata, ed a quella de' muri di mattoni. I tufi vulcanici, le pietre molari, ed altre d'altra specie somministrano del pietrame ineguale, ed affatto irregolare, ma offrono in compenso una maggior attitudine ad incorporarsi con le malte; e quindi se ne possono formare dei muri d'ottima consistenza, e di lunga durata. Tali sono gli eccellenti tufi che si cavano al monte Aventino, a Monteverde, al ponte Nomentano, ed in altri punti dell'adiacenze di Roma, e delle province di Viterbo, di Civitavecchia, e di Frosinone. Tale è pure la così detta pietra *sponga* di Terni, di Tivoli, e d'altri paesi; pregevole altronde per la singolare sua leggerezza, non disgiunta da un giusto grado di resistenza.

§. 601. Non si fabbricano muri di semplice struttura cementizia; ma questa è bensì adattata a formare il nucleo di qualche muraglia d'opera

mista, le di cui fronti o paramenti sieno formate di struttura laterizia, ovvero di pietra squadrata, o lavorata in altra guisa, come fra poco vedremo. Ed in fatti cotesta minuta composizione, finchè è recente, potrebbe temersi che venisse facilmente a sciogliersi per qualsivoglia leggera causa se non fosse così sostenuta dagli accennati laterali ritegni: sebbene invecchiandosi, quando in origine sia stata ben formata con malta delle più astringenti, valga ad acquistare un'indissolubilità tale, che non la cede a quella de' più solidi conglomerati lapidei, formati dalla natura, siccome lo veggiamo negli avanzi de' muri di molti antichi edifici. Nell'opera cementizia si adoperano indistintamente piccoli frantumi di pietre naturali, e laterizie. Ma affinchè questi si uniscano con quella tenacità, che si ammira nell'antiche costruzioni di questo genere, è d'uopo di confonderli in opera con buona e copiosa malta, di eseguire il lavoro a strati orizzontali dell'altezza di circa m. 0,15, e di battere ogni strato con mazzeranghe, il che contribuisce e a costipare il miscuglio, e nello stesso tempo ad accrescere non mediocremente la resistenza della malta allo schiacciamento (§. 559.); ma giova sopra tutto ad esaurire, per dir così, la condensabilità della malta nell'atto della costruzione, e a togliere quindi il pericolo che il nucleo del muramento posteriormente ristringendosi ed abbassandosi si disunisca dai paramenti, costrutti come abbiamo detto d'opera regolare. Questi paramenti debbono essere gradatamente innalzati in conformità della costruzione del nucleo. E quando potesse temersi che per la spinta del nucleo interno, finchè è fresco e tende a dilatarsi orizzontalmente, specialmente sotto i colpi della mazzeranga, i paramenti stessi avessero a far qualche mossa, converrebbe rinfiancarli provvisionalmente con tavolati esteriori, sostenuti da legni verticali, a foggia di costoni, ed anche se occorresse, da puntelli inclinati, finchè, assodatasi la riempitura, fosse svanita la causa del temuto sconcerto.

§. 602. Tutti i costruttori, fino dai tempi di Vitruvio, esaltano l'opera laterizia, siccome quella per cui i muri acquistano solidità e durevolezza maggiore, che per qualsivoglia genere di struttura in pietre naturali. Ed era tale l'eccessività del pregio in cui, al dire dello stesso Vitruvio (1), venivano tenuti dagl'antichi i muri di mattoni, che nelle stime degli edifici privati era invalsa la massima di valutarli nè più nè meno del costo della loro costruzione, considerandone perpetua la durata: mentre i muri ordinari di pietra si supponeva che non potessero durare oltre gli ottanta anni, e perciò nell'apprezzarli si detraeva

(1) Lib. II cap. VIII.

dall'originario loro valore tante volte l'ottantesima parte, quanti erano gli anni decorsi da che erano stati fabbricati. La fortezza e la durevolezza de' muri di mattoni derivano dalla forma regolare e dalla grandezza uniforme, per cui i mattoni si possono disporre e combinare nei modi più vantaggiosi; dalla virtù che hanno i laterizi, di fare strettissima presa cou le malte, dalla facoltà di resistere all'intemperie atmosferiche, posseduta da questi materiali più che da qualunque delle migliori pietre naturali; dalla singolar proprietà di resistere all'azione benchè gagliarda del fuoco. Una prerogativa interessante della struttura laterizia è anche la sua leggerezza, essendo la gravità specifica ne' mattoni minore che in qualsivoglia pietra naturale, di quelle che possano convenientemente destinarsi ad una regolare struttura. Per lo che si ha non di rado motivo di prescegliere l'opera laterizia, ove importi d'attenuare la pressione, o la spinta contro le masse resistenti; come per esempio nelle costruzioni delle volte. Si aggiunga che i muri di mattoni riescono più di qualunque muro di pietra impermeabili all'acqua, onde in molti casi si rendono precipuamente adattati ad alcune idrauliche più gelose costruzioni.

Tutte le norme relative alla fabbrica di cotesta sorta di muri si riducono a due capi: disposizione de' mattoni, ed effettiva costruzione.

§. 603. In generale i mattoni vanno disposti a corsi orizzontali, e deve ciascheduno di essi giacere sulla più ampia delle sue facce. Per tal modo le commettiture de' mattoni d'un medesimo corso, con quelli del corso immediatamente superiore, ed inferiore, sono tutte in un medesimo piano orizzontale. Ma le commessure verticali è d'uopo che sieno sempre alternate, vale a dire che quelle d'un corso non sieno mai in continuazione di quelle del corso inferiore, o del corso superiore, siccome abbiamo inculcato anche in ordine ai muri di pietra squadrata (§. 587.). Con tale sistema si ottiene il vantaggio di mettere in azione il peso delle pietre e de' mattoni a favore della stabilità dell'ammasso; poichè la pressione esercitata da ogni mattone sopra due, o tre, o quattro di quelli del corso inferiore, tende a tener questi uniti ed immobili, ove furono collocati. Coerentemente all'accennata condizione vari sono i modi d'intrecciare i mattoni, secondo che la grossezza del muro è uguale alla larghezza de' mattoni, nel qual caso il muro dicesi *semplice*, ovvero anche muro *d'una testa*; o che la muraglia è d'una grossezza doppia della larghezza de' mattoni, o tripla, o quadrupla ecc, nei quali casi il muro dicesi di due, di tre, di quattro teste, e così via via.

La disposizione più regolare de' mattoni ne' muri d'una testa è quella che vedesi rappresentata nella fig. 225; e corrisponde a quella specie di struttura in pietra squadrata, cui, conforme dicemmo (§. 590 n.° 1), dai Greci fu data la denominazione *d'isodomo*.

Nella fig. 226 si osserva una disposizione confacevole al caso dei muri di due teste.

Le fig. 227, 228 mostrano due diverse maniere d'intrecciare i mattoni nella costruzione de' muri di tre teste.

Finalmente la fig. 229 dà a vedere con quale disposizione possa essere intessuta una muraglia di quattro teste. Sarà facile di concepire altre analoghe disposizioni, adattate per la costruzione de' muri di maggiori grossezze.

Tutte le disposizioni qui addotte includono evidentemente il supposto che la lunghezza del mattone sia doppia della larghezza. È questa una condizione assolutamente essenziale, affinchè i mattoni sieno accomodati ad una regolare disposizione, senza che sia d'uopo di tagliarli; laonde nelle figuline sogliono generalmente apparecchiarsi i mattoni di forma oblunga, come fu già avvertito (§. 519), con l'assegnato rapporto di 1 : 2 fra la larghezza e la lunghezza (1).

§. 604. Nell'ordinaria struttura laterizia la disposizione de' mattoni generalmente è tale, che ognuno di essi trovasi immancabilmente con la costa, ovvero con la testa parallela alle fronti del muro, come appunto apparisce nei vari modelli che abbiamo avuti or ora sotto gli occhi. Potrebbero tuttavia i muri più massicci essere costrutti con una disposizione, in cui i mattoni d' un filare venissero ad intrecciarsi con quelli dei filari contigui, essendo tutti posti obliquamente alle fronti del muro. Nella fig. 230 si offre un modello di struttura laterizia, coi mattoni giacenti obliquamente, la quale dicesi (2) essere usitata nell'Olanda. Le coste e le teste dei mattoni sono poste ad angolo semiretto con le fronti del muro, con positure inverse ed alternate da un filare all'altro, come ben si ravvisa nel tipo. L'estremità de' mattoni, che compariscono nelle fronti del muro, è d'uopo che sieno preventivamente tagliate in isbieco; e qualora le fronti debbono rimaner senza intonaco, a mattone scoperto, o sia, come dicono i pratici, a cortina, per togliere la scabrosità delle facce apparenti de' mattoni, e per dare alle fronti un aspetto polito e decente, se ne strofina tutta la superficie con un orso (§. 508) di pietra arenaria, facendo scorrere questo con forza avanti e in dietro in tutti i sensi, finchè sia svanita ogni ruvidezza. L'orso è agitato con moto rettilineo alternativo da due uomini che tirano a vicenda due funi da essi impugnate, le quali tengono legato il sasso; mentre un'altra persona è occupata a calcare fortemente l'orso sulla faccia del muro, e a bagnare

(1) V. il prospetto aggiunto al cap. III di questo libro, a pag. 33.
(2) Borgnis · *Traité élémentaire de construction* · Lib. II cap. 1.

di mano in mano le parti, sulle quali si vien estendendo la strofinazione.

§. 605. La forma piatta, e regolare de' mattoni giova talune volte a costruire sottilissimi muri di tramezzo per l'interne divisioni nelle fabbriche civili, nei quali al pregio della leggerezza va congiunto quello della pochissima area occupata. Questi muri diconsi di mattoni *in çosta*, ovvero di mattoni *in taglio* atteso che sono composti di mattoni disposti a corsi orizzontali, e giacenti appunto in costa, o sia in taglio, in modo che la grossezza del muro riesce uguale a quella de' mattoni, salvo l'aumento dell'intonaco, che si distende al di qua e al di là sulle due superficie della muraglia. La struttura di cotesti muri vedesi delineata nella fig. 231. Per altro questa costruzione sarebbe troppo mal sicura, atteso la tenuità della base, quando i muri divisorii sono più che discretamente lunghi, ed alti; ed in tal caso volendoli costruire di mattoni in costa è d'uopo di fortificarli con un telaio a vari ordini di piane di legno verticali, ed orizzontali, saldate ne' laterali muri massicci, nel pavimento, e nel solaio, e ben connesse l'une con l'altre, in guisa che il muramento di mattoni in taglio venga diviso in tanti specchi o *riquadri*, incassati ne' vani del telaio; ciascuno de' quali non sia nè più lungo nè più alto di due metri al sommo.

§. 606. La seconda specie di struttura laterizia, vale a dire la struttura in tevolozza (§. 584), atteso la disuguaglianza e l'irregolarità de' frammenti di mattoni che in essa si adoperano, non ammette quelle perfette disposizioni, che sono proprie dell'opera laterizia in mattoni interi. Comporta bensì la regolarità dei corsi orizzontali; il che è pure un vantaggio, quand'essa si paragoni coi muri di pietrame, oltre quei pregi che derivano dalla natura del materiale, i quali furono già da principio enumerati (§. 602). Tutto lo studio, nella composizione de' muri di tevolozza, dev'esser rivolto ad ottenere appunto la perfetta orizzontalità dei filari, ad evitare inoltre la coincidenza delle commessure verticali d'un filare con quelle de' filari contigui (§. 603), e finalmente a procurare che i pezzi sieno combinati in un medesimo filare in guisa che ciascuno si trovi a contatto degli adiacenti, per quanto le diversità della grandezza e della figura lo permettono, inserendo i più minuti frammenti negl'interstizi, ove i fianchi irregolari de' pezzi più grossi non vengono a corrispondersi e a combaciarsi. Giova pure di collocare alle fronti del muro frammenti più grossi, e meno irregolari; quando mai non si preferisse di costruire i paramenti di mattoni interi, affinchè così la struttura acquistasse una maggior unione, ed una maggiore solidità.

§. 607. Nell'effettiva costruzione de' muri laterizi è necessario che i mattoni, e così la tevolozza, si nettino da ogni materia eterogenea, che fosse ad essi aderente, e si lascino inzuppare nell'acqua a saturità, prima di porli

in opera, per la ragione che già si disse discorrendo de' muri di pietrame (§. 600). Si murano quindi con copiosa malta di buona qualità, alquanto più sciolta di quella che si adopera nei muramenti di pietrame, disponendoli opportunamente, come si è insegnato e battendoli leggermente ad uno ad uno con la martellina, o col taglio della cucchiaia, acciocchè si pongano nel più regolare assetto. Avvertasi che il muro progredisca sempre quanto più si può uniformemente in altezza; e che, quando dopo qualche interruzione si debba riprendere il muramento, ove la malta ed i mattoni siensi più o meno inariditi, vi si getti sopra acqua abbondante, per disporli a far buona presa con la nuova muratura in continuazione dell'opera.

§. 608. Le diverse specie di struttura, sulle quali ci siamo finora intertenuti, vengono promiscuamente usate ne'muri d'un medesimo edificio, dipendentemente da moltiplici riguardi di convenienza di solidità, ed estrinseca forma. Ond'è che veggiamo in alcune antiche e moderne fabbriche i muri maestri esteriori stupendamente costrutti in pietra da taglio; l'interne muraglie principali in struttura di pietrame; le volte ove d'opera laterizia, ove di pietra tagliata, ove finalmente di pietrame leggero; i muri di tramezzo poco grossi, fabbricati di mattoni o di tevolozza; le sponde degli acquedotti e delle chiaviche di struttura laterizia, ec. Ma gli stessi sovraccennati riguardi inducono pure talvolta ad assegnare variate strutture alle diverse parti d'uno stesso muro. E così osserviamo talvolta che nelle facciate e ne'fianchi de'grandi edifici, laddove la struttura, direm così, dominante è in pietrame ovvero laterizia, le parti cui spettano i principali uffici di resistenza, come sono i basamenti e le cantonate della fabbrica, gli stipiti e gli architravi delle porte e delle finestre, come pure alcune altre, sebbene non abbiano particolari uffici di resistenza, ed altro non sieno che masse di concatenazione, o anche semplicemente completive, come le fasce, i cornicioni ec. (§. 493), tuttavia sono costrutte in pietre da taglio. E più frequentemente nelle fabbriche di pietrame veggonsi formate d'opera laterizia tutte quelle parti, che sono destinate agli uffici più gelosi. Ma tali promiscuità di struttura non sono quelle che costituiscono i muri misti, nel significato comune degli architetti. Muri misti in cotesta significazione sono quelli i quali indipendentemente da quegli accidentali cangiamenti, che sono richiesti dagli speciali uffici d'alcune parti, ovvero derivano da un piano ragionato di caratteristiche forme esteriori, offrono in tutta la loro estensione una combinazione costante di varie specie di struttura. Ne' muri misti le varie strutture si avvicendano con un cert'ordine, il che può succedere in due modi. Possono primieramente le diverse strutture alternarsi l'una sull'altra a strati orizzontali; nel qual caso estrinsecamente le fronti

de' muri appariscono listate longitudinalmente, a meno che non vengano ricoperte da un intonaco. Ed in secondo luogo possono i cangiamenti di struttura accadere nella grossezza del muro, senza che ne apparisca segno all'esterno; quando cioè dietro una, ovvero fra due spoglie o fodere esteriori di qualsivoglia struttura regolare è innalzato un corpo di muramento di struttura diversa, che costituisce la parte più massiccia, ovvero il nucleo della muraglia. Nel primo caso i muri possono chiamarsi *listati*; nel secondo *foderati*, ovvero anche *imbottiti*, quando un nucleo di struttura qualunque sia contenuto fra due spoglie o fodere d'opera regolare.

§. 609. Gli antichi monumenti ci offrono vari esempi di muri listati. Le muraglie del circo di Caracalla, presso l'antica via Appia, sono composte a filari alternativi, uno di mattoni, ed uno di tufo in conci squadrati. I muri dell'alloggiamento de' soldati a Pompei sono pure costrutti alternativamente di tre corsi di mattoni, e di un filare di pietra squadrata. I moderni costruiscono talvolta de' muri listati, col solo fine d'alternare alla struttura in pietrame dei corsi d'opera regolare laterizia, ovvero in pietra squadrata, acciocchè ne risulti un sistema più unito e più stabile, che non potrebbe sperarsi dall'irregolarità d'una composizione tutta uniforme di semplice pietrame.

§. 610. I muri imbottiti hanno ordinariamente il nucleo, che i Greci chiamavano *emplecton*, di pietrame o di cementi, rivestito d'ambe le parti, o da una soltanto, con una spoglia, o di pietre naturali, tagliate e disposte regolarmente, ovvero di struttura laterizia. La fig. 232 dimostra un muro misto di questo genere, il quale ha il nucleo di struttura cementizia, ovvero in pietrame, e la spoglia o sia il paramento in pietre squadrate. Dal lato sinistro la sezione e la pianta rappresentano un muro foderato e di fuori e di dentro, vale a dire di quelli che propriamente diconsi imbottiti (§. 608); e dal lato destro vedesi in sezione ed in pianta un muro foderato, soltanto da una parte. La fig. 233 offre la sezione e la pianta d'una muraglia imbottita, che ha la spoglia esterna in pietre squadrate, e l'interna in mattoni. Tale è la struttura della maggior parte dei muri della basilica di san Pietro.

Questi muri misti, composti di varie falde verticali di strutture diverse, aderenti l'une all'altre, vogliono essere costrutti con particolari cautele, affinchè, per la sconnessione degli strati componenti, non abbiano presto o tardi a sconciarsi. Importa primieramente che le spoglie esteriori sieno continuamente immorsate al nucleo, o sia al ripieno intercluso: il che si ottiene disponendo le pietre squadrate, e così pure i mattoni, in guisa che in ciaschedun corso i conci, ed i mattoni sieno collocati alternativamente uno in grossezza ed uno in chiave (§. 590 n.° 2), come

appunto si vede nelle due figure ultimamente citate. E per ottenere un maggior concatenamento giova di stabilire di tanto in tanto per traverso lunghe pietre, che trapassando dall'una all' altra fronte del muro, a guisa di chiavi o di fibbie, riuniscano saldamente le varie parti del sistema. Nei muri imbottiti di molta grossezza ponevano gli antichi a forma di fibbie delle spranghe abbrostite di legno d' olivo, che trapassando la muraglia da parte a parte, ne tenevano collegati i due paramenti, ed impedivano il distacco di questi dal nucleo interno (1). Il muramento interiore dev' essere di mano in mano costrutto, e battuto, in proporzione che s' innalzano i paramenti; il che fu già avvertito in addietro, ove si disse de' muri cementizi (§. 601).

§. 611. I Romani avevano dei modi particolari per la costruzione de' paramenti ne' muri imbottiti, i quali poi sono andati in disuso. Uno di questi era la così detta *opera reticolata*, di cui veggonsi moltissimi esempi in tanti avanzi di antiche fabbriche. I paramenti d' opera reticolata erano composti di pezzi di tufo, o d' altra pietra, tutti uguali; e tagliati a forma di parallelepipedi a base quadrata, alquanto acuminati nell' estremità, che in opera doveva rimanere nascosta. La base del parallelepipedo o *quadrello*, destinata a comparire nella fronte del muro, aveva il lato di circa otto centimetri; la lunghezza totale del quadrello era di 16 centimetri circa. Cotesti quadrelli erano disposti in guisa che delle due diagonali della base di ciascuno di essi una fosse orizzontale, l' altra verticale; talmente che la fronte del muro appariva tessuta a forma di rete, al che allude appunto la denominazione data a cotesta specie di struttura. Era per altro indispensabile che i paramenti reticolati fossero contenuti fra liste orizzontali e verticali, d'opera ordinaria di mattoni, o di piccole pietre squadrate, onde le fronti dei muri presentavano regolari compartimenti di riquadri, o specchi, divisi da fasce orizzontali e verticali, siccome si può vedere nella fig. 234. Leon Battista Alberti (2) asserisce d' avere osservato che, alcune volte, ai quadrelli d' ordinaria forma ne erano interpolati altri più lunghi, la base dei quali era un rettangolo ugualmente largo e doppiamente lungo della base de' quadrelli comuni, quali sono quelli che nella figura vengono contrassegnati con la lettera *e*. Era questo un artificio che tendeva evidentemente a legare la spoglia reticolata col ripieno della muraglia. La struttura reticolata fu dallo stesso Vitruvio (3) dichiarata disposta a

(1) Vitruvius — Lib. I cap. V.
(2) Lib. III cap. IX.
(3) Lib. II cap. VIII.

screpolare, in grazia della scollegata disposizione de' quadrelli. Era tuttavia in gran moda l'opera reticolata a quei tempi, atteso l'eleganza della sua forma; ed il fatto dimostra che l'accuratezza della costruzione, e la potenza d'eccellenti malte, potevano esentare il sistema da quegli sconcerti, dei quali la svantaggiosa disposizione aveva giustamente fatto temere.

§. 612. Costumarono anche frequentemente i Romani di rivestire i muri di pietrame e i cementizi con una spoglia di mattoni triangolari (§. 519). Questi mattoni si disponevano a filari orizzontali, con le commessure verticali alternate, costantemente posati in guisa che il maggiore dei lati, o sia l'ipotenusa del triangolo, cadesse sulla fronte, e l'angolo retto nell'interno della muraglia. La struttura di cotesta sorta di muri imbottiti, di cui rimangono degli esempi nelle ruine delle terme di Titó, e di altri antichi edifici, ci viene rappresentata nelle figure 235, e 236. La prima appartiene al caso che la grossezza del muro sia uguale alla lunghezza del ipotenusa del mattone triangolare: la seconda ad un muro di grossezza maggiore. Le stesse figure mostrano alcuni corsi di grandi mattoni quadrati, estesi a tutta la grossezza del muro, quali veggonsi in molti avanzi di così fatte muraglie, rellevati a maggiore o a minor distanza gli uni dagli altri, e tendenti a tener concatenate di tratto in tratto le due spoglie col nucleo interno della costruzione.

§. 613. Nella moderna costruzione, non essendo più in uso i mattoni triangolari, le fodere laterizie si costruiscono di mattoni comuni rettangolari, e si distinguono con la particolar denominazione di *cortine*. Affinchè ne divenga più regolare e più unita la struttura, segnatamente quando le fronti non debbono essere ricoperte d'intonaco, si adoperano dei mattoni rotati, o come altrove volgarmente dicesi *sagramati*, i quali per la pianezza, cui sono ridotte le loro facce, si accostano e si combaciano perfettamente, così che nelle commettiture sottilissimo e quasi impercettibile si rende lo strato della malta. Acciocchè la cortina si unisca saldamente al grosso, o sia al ripieno della muraglia, importa grandemente che i mattoni non presentino tutti il fianco sulla fronte, ma bensì alternativamente sieno posti uno in grossezza, ed uno in chiave, come già si disse (§. 610), o che almeno a due o tre mattoni posati in grossezza ne succeda costantemente uno collocato in chiave. Per la costruzione delle cortine a mattoni rotati si richiede una malta più grassa, e più sciolta di quella che suole adoperarsi nell'ordinaria struttura laterizia (§. 551,607).

§. 614. Termineremo questo capitolo intorno alla struttura murale raccogliendo alcune importanti avvertenze, che debbono generalmente servir di governo agli architetti, per eseguire con buon metodo, e con felice successo qualunque sorta di murali costruzioni.

1. Generalmente le stagioni opportune per l' esecuzione de' lavori murali sono le temperate. Nell' inverno le pietre e le malte pregne d' umidità, potendo essere assalite dal gelo; sono in pericolo le prime di fendersi e di sfaldarsi, le seconde di scapitare nella consistenza, e nella tenacità. Nell'estate l' eccessivo calore disecca troppo rapidamente le malte, il che nuoce alla riuscita di esse; dimostrandolo la friabilità delle malte in quei muri che o sono stati fabbricati nel colmo dell' estate, ovvero sono stati costrutti senza bagnare le pietre, ed i mattoni (§. 600,607). L' esperienze istituite dal Vicat (1) hanno dato a conoscere che per un asciugamento troppo accelerato, le malte possono giugnere a perdere per fino ad otto decimi di quella resistenza rispettiva, che sarebbero capaci d' acquistare asciugandosi lentamente nelle parti basse e nascoste di qualche edifizio. Le stagioni invernale ed estiva sono pur contrarie all' economia de' lavori murali: poichè il gran caldo estenua la forza dell' uomo, e lo fa più lento a qualsivoglia lavoro: e nei tempi rigidi oltre che il freddo eccessivo avvilisce i lavoranti, avviene ancora che l' umidità ed il gelo rendono penoso il maneggio de' materiali, incommodo e pericoloso l' aggirarsi sulle scale e sui ponti di servizio; onde queste difficoltà debbono necessariamente rallentare il progresso dell' operazioni. Si potrà bensì l' estate, o l' inverno eseguire qualsivoglia lavoro murale in luoghi chiusi e coperti, dove i danni e gl' incommodi delle stagioni si fanno poco o nulla sentire. Ma sempre che abbiasi a fabbricare a cielo scoperto, convien cogliere le stagioni di primavera e d' autunno, sebbene in alcuni climi, come nel nostro, la temperatura dell' inverno è ordinariamente così dolce, che non impedisce la fabbricazione, e non offende per conto alcuno la buona riuscita dei muri.

2. Talvolta imperiosi motivi costringono ad intraprendere, o a continuare la fabbrica dei muri, malgrado le contrarietà delle stagioni. Allora è d' uopo di non trascurare alcune opportune cautele, per isfuggirne, o almeno per minorarne i perniciosi effetti. Gioverà in estate di mantener fresco il muramento, facendolo spesso inaffiare nel corso della giornata. Nell' inverno sarà utile di coprire ogni sera il lavoro di paglia, o di strame, per impedire l' accesso alle brine, e alle notturne gelate.

3. Replicheremo qui l' avviso di nettare e di bagnare la superficie, sulla quale, dopo qualche interruzione, deve continuarsi il muramento (§. 600). Tende la prima operazione ad allontanare quelle materie terree

---

(1) V. l' altre volte citata sua opera *Recherches sur les chaux ecc.* — Lez. III cap. IV

che unendosi alle malte ne potrebbero indebolire l'efficacia, e che potrebbero favorir lo sviluppo dei semi di caprifichi o di altri arbusti, i quali allignando nelle commessure de' muri, non di rado vi producono incredibili guasti con la forza espansiva delle loro radici. L'inaffiamento ha per iscopo di promovere la presa della malta, e l'unione del nuovo muro con quello che precedentemente era stato fatto.

4. E ripeteremo ancora l'importante avvertimento di regolare la costruzione de' muri in modo che l'elevamento di essi succeda non più velocemente in una che in un'altra, ma uniformemente in ogni parte, acciocchè il calo, che proviene dal costipamento delle malte, e dall'assettamento delle pietre sia gradatamente contemporaneo ed equabile, nè per le sue irregolarità abbia ad originare viziose disgiunzioni nelle masse murali. Per lo stesso motivo s'inculca di non frammischiare alla rinfusa in un medesimo filare, o in un medesimo strato orizzontale pietre di varia gravità specifica, affinchè non avesse ad occorrere il caso, che le più pesanti si accumulassero l'une sull'altre in maggior copia in una che in un'altra parte, e diverso rendendosi il peso comprimente sulle masse inferiori, irregolare pur si rendesse il costipamento delle malte, e l'assettamento del muro. Ciascun corso o strato orizzontale dovrà essere tutto composto di pietre della stessa specie, e quelle di diversa qualità si dovranno tenere a parte, per impiegarle, sempre con la stessa cautela, nella costruzione di altri corsi o strati orizzontali.

5. Prima di por mano alla costruzione de' muri si lascino riposare i fondamenti, finchè possa giudicarsi che siensi completamente assettati. Negli edifici di molt'altezza non si facciano seguitamente crescere i muri dal fondamento fino alla cima, acciocchè le masse inferiori non abbiano a trovarsi aggravate da un carico eccessivo, prima che le malte siensi assodate, ed abbiano acquistato forza sufficiente per resistere a sì gagliarda pressione. Perciò di tanto in tanto si lascerà sospeso il lavoro per qualche giorno, onde così dar tempo al muramento fatto di assettarsi, e alle malte di pigliar lena. Negl' intervalli di coteste interruzioni non si ommetta di coprire le sommità de' muri di strame, o di paglia, per sottrarli alla sferza del sole, e del vento, che ne accelererebbero troppo l'essiccazione con pregiudizio della solidità (n°. 1). Una costruzione troppo affrettata, senza le suggerite periodiche pause, non sarebbe meraviglia che occasionasse pronti risentimenti nelle parti inferiori de' muri, le quali fin dal nascere, per così dire, della fabbrica ne compromettessero la stabilità e la durevolezza.

6. Vuolsi usare la più scrupolosa diligenza affinchè i corsi delle pietre sieno in una perfetta orizzontalità, e le facce e gli spigoli dei muri riescano rigorosamente verticali, o, come dicesi comunemente, *a*

*piombo*. L'importanza di queste condizioni per la regolarità della struttura, e per la stabilità de' muri, si deduce da semplicissime considerazioni geometriche, e meccaniche, così ovvie che sarebbe superfluo di rammentarle. Pel conseguimento delle condizioni medesime i più idioti artefici sanno valersi del piombino e dell'archipendolo, col soccorso dei quali tirano due fili orizzontali nei piani delle fronti del muro, secondo le tracce della pianta segnata sul terreno (§. 567), e vanno poi trasportandoli in alto di mano in mano che il muro si viene innalzando, per la giunta di un nuovo filare, accomodando in ciaschedun corso le pietre o i mattoni, in corrispondenza delle direzioni di cotesti fili. Facilmente si scorge come, per mezzo di altri fili inclinati, si possa ottenere il regolare assottigliamento de' muri a scarpa.

7. Quando un muro nuovo dev'esser costrutto a fianco d'uno vecchio, ed in continuazione di questo, affinchè le due masse s'uniscano saldamente, è necessario d'intagliare il vecchio in guisa ché presenti all'attaccatura del nuovo una serie di denti ed incavi alternati, che in pratica chiamansi *morse*, per cui il muro che si costruisce, e quello preesistente, si afferrino e si stringano vicendevolmente, e quando l'alternazione dei denti e degli incavi sussista tanto nel senso dell'altezza quanto in quello della grossezza del muro, egli è evidente che il vincolo delle masse sarà tale, che l'una di esse non potrà moversi per nessun verso, indipendentemente dall'altra; onde si sosterranno a vicenda come se fossero contemporaneamente costrutte. Ma importa eziandio moltissimo di procurare che battendo a riprese il muro che si va costruendo (§. 601), e dandogli frequenti riposi (n°. 5), il costipamento delle malte, e l'assettamento delle pietre, si esauriscano nell'atto della costruzione; poichè ogni cedimento, che avvenisse di poi nel muro nuovo, quando fosse finito, non venendo secondato dal vecchio, cui è congiunto, non si rimarrebbe di produrre qua e là fenditure e distacchi, e scatenando così le masse, indurrebbe nel sistema un principio d'instabilità e di dissoluzione.

## CAPO VII.

### *Della stabilità de' piedritti*.

§. 615. Le cose fin qui addotte intorno alla qualità e all'apparecchio de' materiali, ed all'effettiva struttura de' muri, involgono le condizioni architettoniche della stabilità degli edifici murali a norma della distinzione fatta già sul principio di questo libro (§. 494). Ci faremo ora a parlare delle condizioni statiche della stabilità de' piedritti, di quelle

cioè che concernono l'opportuna determinazione delle forme e delle dimensioni di essi, confacentemente allo scopo di renderli validi a mantenersi fermi ed illesi sotto l'azione di quelle forze, cui son condannati a sopportare, senza che per ingrossarli eccessivamente si abbia ad incorrere in un superfluo dispendio, e ad accrescere senza motivo le pressioni che essi esercitano sulle masse sottoposte. Considereremo da prima il caso di quei muri comuni, o piedritti, i quali sono semplicemente destinati a sopportare la pressione verticale, che deriva dal peso delle parti superiori sulle inferori, aumentato non di rado da quello de'solai, delle volte, e de'coperti, cui essi servono di sostegno. Soggiungeremo quindi varie interessanti osservazioni, dalle quali si potranno ricavare opportune norme, per stabilire una giusta proporzione fra la somma delle aree occupate dalle basi di tutti i piedritti di qualsivoglia civile edificio, e l'area totale sulla quale esso si deve estendere. Passeremo di poi all'esame di quei muri, contro i quali agisce qualche forza orizzontale, come sarebbe la spinta d'un terrapieno, ovvero quella dell'acqua. E finalmente verremo prescrivendo alcune regole essenziali, intorno al modo di ben situare e distribuire a luogo a luogo ne'muri quelle aperture, chiamate dai pratici comunemente *vani*, le quali o sono articoli indispensabili di comodo, come le porte, le finestre, le gole che diconsi anche canne e trombe de'cammini ec.; o appartengono semplicemente alla decorazione, come le nicchie ec; ovvero anche non di rado si formano pel solo fine d'alleggerire alcune masse, ove possa farsi, senza pregiudizio della stabilità, onde minorare l'azione del loro peso sull'altre cui sovrastano, o procurare una giudiziosa economia nella costruzione.

Denoteremo d'ora innanzi ordinariamente i piedritti con la semplice denominazione di muri, chiamando muri dritti, ovvero rettangolari, quelli che lateralmente sono terminati da facce verticali, e muri a scarpa quelli che hanno una, o entrambe le facce laterali inclinate all'indentro. La prima forma si assegna generalmente ai muri, che non hanno a far contrasto a veruna spinta laterale, e debbono soltanto reggere il proprio peso, e talvolta anche quello d'altre masse, o d'altre parti della fabbrica, che agiscono verticalmente contro la resistenza di essi allo schiacciamento. La forma a scarpa frequentemente si adotta quando si tratta di muri, contro i quali agisce qualche spinta laterale, essendo noto in meccanica come giovi in tal caso l'inclinazione del muro ad accrescerne il momento della resistenza, senza che se ne aumenti la massa (1).

(1) Venturoli - *Elementi di meccanica e d'idraulica* - Vol. I lib. IV cap. II e III.

§. 616. Corrispondentemente all' ipotesi, bastevolmente giustificata dall' esperienza, che la resistenza de' solidi allo schiacciamento sia proporzionale all' area della base premuta (§. 169, 505), egli è chiaro che un muro rettangolare di struttura omogenea, gravato semplicemente dal proprio peso, in cui per conseguenza tanto il gravame quanto la resistenza, sopra una lunghezza costante, sono proporzionali alla grossezza, avrà sempre lo stesso grado di stabilità, comunque sia grosso; e che questo grado di stabilità sarà tanto maggiore quanto l' altezza del muro sarà minore di quella, per cui nell' infima sezione orizzontale del solido si facciano vicendevolmente equilibrio la resistenza ed il peso comprimente. Si chiami $x$ cotesta altezza del muro, per cui si verifica l' equilibrio; e supponendo che sia $G$ la gravità specifica del muro, e $V$ la resistenza allo schiacciamento del muro stesso per l' unità superficiale della base premuta, si avrà generalmente $x = \frac{V}{G}$. Laonde si deduce che il muro non potrebbe farsi d' un' altezza maggiore di $\frac{V}{G}$, e che tanto maggiore sarebbe la sua stabilità quanto più la sua altezza fosse minore di cotesto limite.

Poniamo per esempio ad esame un muro laterizio. Sappiamo che coi nostri materiali la gravità specifica di cotesti muri è di 1522 (§. 554): e riassumendo i risultati dell' esperienze possiamo valutar la resistenza allo schiacciamento ne' mattoni di chilog. 40 (§. 523), e nella nostra malta usuale di calcina e di pozzolana di chilog. 34,4 (§. 558) per ogni centimetro quadrato della base premuta. Converrà dunque pel muro di cui si tratta attenersi al minore, cioè al secondo, di questi due dati, dal quale risulta la resistenza di chilog. 344000 per ogni metro quadrato della base; e questa si deve ridurre alla metà, cioè a chilog. 172000 trattandosi di un' azione continuata. Avremo dunque $G = 1522$, e $V = 172000$; onde ne ricaveremo $x = 113$ metri. Concluderemo perciò che un muro di mattoni non istimolato da veruna spinta laterale, nè premuto da verun peso estrinseco, purchè la sua altezza non sia maggiore di m. 113, sarà pienamente sicuro quanto agli effetti della compressione, qualunque sia la grossezza ad esso assegnata.

§. 617. La stabilità d' un muro nelle considerate circostanze, per quanto dipende dalla prevalenza della sua forza resistente alla pressione, che tenderebbe ad infrangerne l' infime parti, può dunque accordarsi con qualsivoglia grossezza, anche tenuissima, del solido murale. Ma egli è pur d' uopo di considerare la stabilità del solido rispettivamente alla geometrica sua costituzione, vale a dire alla sua figura ed al suo

collocamento. Posato sopra un piano orizzontale, e costrutto con le sue facce perfettamente a piombo, poichè la verticale condotta pel suo centro di gravità passa pel centro di gravità dell' area della base, non v'ha dubbio che, se si guardi matematicamente la cosa, esso non solo sarà in equilibrio sulla propria base, ancorchè pochissima fosse la sua grossezza, ma dovrebbe altresì mantenervisi quand'anche tutto venisse meno il piano, sul quale è posato, meno quel solo punto che sostiene il centro di gravità della base. Ma, fisicamente parlando, non solo nell'accennato estremo caso, ma finchè l'ampiezza della base, o sia la grossezza del solido, avrà un troppo scarso rapporto all'altezza di esso, oltremodo incerto ed instabile sarà l'equilibrio, ed ogni più lieve cagione, per cui la base venga a declinare dall'orizzontale e le facce dal perpendicolo, potrà turbarlo; onde il muro sarà in continuo pericolo di ruinare. Importa quindi sommamente che la grossezza de' muri sia determinata in ragione della loro altezza, in guisa che ne venga assicurata la stabilità, senza peccar per eccesso contro le massime di una sana economia. La sola esperienza poteva far conoscere quali sieno, direm così, i giusti confini segnati per una parte dalla stabilità, per l'altra dall' economia, entro i quali deesi cercare la misura opportuna della grossezza d'assegnarsi ai muri, col debito riguardo alle loro altezze. Il Rondelet è stato il solo, che di proposito si è applicato a questa sperimentale ricerca, e sono frutto delle numerose ed accurate sue osservazioni alcune nuove regole introdotte nella pratica per la determinazione della grossezza di qualunque muro, ove non si tratti che d'assicurare quella stabilità di posizione, di cui stiamo ragionando. Egli ha sagacemente distinto il caso di un muro in linea retta affatto isolato, da quello in cui l'estremità del muro si congiungono a quelle d'altri muri, che concorrono con esso ad angolo; ed ha poi considerati distintamente i muri degli edifici semplicemente coperti da un tetto, come sono i tempii, ed i muri delle fabbriche distribuite in vari piani per mezzo di un certo numero di solai. Esigevano in fatti questi casi d'essere esaminati ciascun da se, essendo patente, che in parità di grossezza, minore deve essere la stabilità in quei muri che sono affatto isolati, che in quelli i quali sono alle loro estremità ritenuti da altri muri posti con essi ad angolo; e che il concatenamento dei tetti e dei solai deve favorire la stabilità dei muri, e rendere in essi necessaria una grossezza minore di quella che abbisogna, quando non sono coadiuvati da cotesti scambievoli vincoli. Invero l'osservazioni sono state fatte dal Rondelet sopra muraglie di pietrame, e cementizie, e quindi le regole, ch'egli ne ha dedotte, appartengono propriamente a questa sorta di muri. Tuttavia le regole stesse si possono francamente applicare ad ogni altra sorta di muri, nei quali la regolarità della

struttura è una circostanza ulteriore, a puro benefizio della stabilità. Trascriveremo dunque ordinatamente queste utilissime regole, in conformità degl' insegnamenti del benemerito professor francese (1).

§. 618. Ad un muro piantato in linea retta, e totalmente isolato deesi assegnare una grossezza uguale almeno alla dodicesima parte della sua altezza, e non maggiore dell' ottava parte dell' altezza medesima. Al più basso di questi due limiti corrisponde una discreta stabilità; al più alto tutta quella maggiore stabilità, cui ragionevolmente può aspirarsi. Si ha una stabilità media quando la grossezza del muro è uguale ad un decimo dell' altezza. Ma in generale sarà opportuno in pratica di fissare la grossezza del muro entro gl' indicati limiti, minore o maggiore, a seconda delle qualità de' materiali, della natura del fondo, sul quale si deve ergere il muro, e di tutte quelle circostanze particolari, che possono influire a vantaggio ovvero in pregiudizio della stabilità.

Il caso cui appartiene questa regola è rarissimo in pratica; poichè dei muri isolati non se ne sogliono costruire se non che nell' arene destinate pel giuoco del pallone, e tal volta anche nel fondo di qualche strada o di qualche viale, ovvero in altro luogo, scelto per formarvi un' adorna prospettiva.

§. 619. Quando diversi muri si elevano sui lati di una pianta poligona, e vengono ad alternarsi gli uni agli altri negli angoli della figura, la grossezza di ciascuno di essi muri si determina col seguente metodo grafico. Sieno $AB$ l'altezza, e $BC$ la lunghezza del muro (fig. 234). Si compia il rettangolo $ABCD$, e si tiri la diagonale $AC$. Su questa si prenda il segmento $Am$, la di cui lunghezza sia compresa fra un dodicesimo ed un ottavo dell' altezza $AB$; e pel punto $m$ si conduca la linea $mn$ parallela ad $AB$. Sarà $Bn$ la cercata grossezza del muro. Ora se chiamiamo $a$ l' altezza $AB$, $b$ la lunghezza $BC$ del muro, e $p$ il rapporto di $Am$ ad $AB$, da fissarsi, come si è detto, fra $\frac{1}{12}$ ed $\frac{1}{8}$, secondo che si giudica necessario per ottenere un giusto grado di stabilità; ed esprimiamo per $x$ la cercata grossezza $Bn$ del muro: per la similitudine de' triangoli $ABC$, $mnC$ essendo $AC:BC::Am:Bn$, o sia $\sqrt{(a^2+b^2)}:b::a\,p:x$, ne segue che sarà $x=\frac{abp}{\sqrt{(a^2+b^2)}}$. Onde omettendo l' operazione grafica, si potrà sempre determinare per mezzo di questa formola la grossezza d' assegnarsi al muro, sostituendo in vece di $a$, e di $b$ i rispettivi valori numerici, secondo l' adottato sistema

(1) *Traité de l'art de bâtir*. Lib. IV sez. III artic. VI.

di misura lineare, ed in luogo di $p$ quella frazione che si stimerà opportuno di scegliere entro i limiti d' $\frac{1}{11}$ e d' $\frac{1}{8}$. Ed è chiaro che il valore della grossezza $x$ così determinato cresce in ragion composta dell'altezza, $a$ e della lunghezza $b$ del muro, mentre appunto crescendo l'altezza, e la distanza scambievole de' due rinforzi, cioè la lunghezza del muro, scemerebbe di mano in mano la sua stabilità, se la grossezza si supponesse costante.

§. 620. Pei muri che recingono l'area d'un poligono regolare, la grossezza determinata per mezzo dell'addotta regola risulta uguale tutta all'intorno, e diminuisce in ragione della lunghezza di ciascuno de' lati del poligono, vale a dire in ragione inversa del numero de' lati. Ma così pei poligoni di un gran numero di lati si troverebbe piccolissimo il valore della grossezza da assegnarsi ai muri d'ambito; e considerando il circolo come un poligono d'infinito numero di lati, la grossezza del muro di circuito sarebbe eguale a zero. Quindi la formola non può estendersi a questi casi, onde si stabilisce che essa debba valere soltanto per quei poligoni regolari, nei quali il numero dei lati non è maggiore di dodici, e che per quelli che hanno un maggior numero di lati, e così pure pel circolo, la grossezza del muro d'ambito debba costantemente esser quella stessa, che, in conformità della regola, competerebbe al dodecagono inscritto. Il Rondelet ha verificato che tale è appunto la grossezza del muro circolare che circonda il tempio di santo Stefano rotondo; uguale cioè a quella che si ricaverebbe dalla formola, supponendo che la pianta del muro non fosse la periferia del circolo, ma bensì il perimetro del dodecagono ad esso inscritto.

§. 621. Quando una fabbrica di pianta rettangolare oblunga non forma che un semplice ambiente, ed i muri laterali non hanno da cima a fondo altro vicendevole legame che quello che deriva dall'armature del coperto (§. 301), come accade per es. ne' tempii, per determinare la grossezza de' muri stessi si propone dal Rondelet la seguente regola grafica. Sia $AB$ (fig. 235) l'altezza a cui debbono elevarsi i muri, e sia $BC$ la larghezza della nave da essi racchiusa. Compiuto il rettangolo $ABCD$ si conduca la diagonale $BD$, e sul prolungamento di essa si assuma $RF$ uguale ad un ventiquattresimo della somma dell'intera altezza $AB$, e di quella porzione $AK$ di tale altezza, che avanza sulla sommità delle fabbriche esteriormente aderenti al muro fino alla cima di questo. Tirando pel punto $F$ la verticale $FO$, che nel punto $E$ interseca la $CB$ prolungata, sarà $BE$ la cercata grossezza del muro. Per convertire questa regola grafica in una formola analitica dicasi $a$ l'altezza $AB$ del muro, $b$ la larghezza $BC$ della nave, e $c$ la differenza $AK$ fra l'altezza totale $AB$ e quella parte $BK$, fino alla quale si

appoggiono le fabbriche adiacenti; e chiamando $y$ la grossezza $BE$ del muro, determinata con l'anzidetta costruzione, si troverà facilmente $y = \frac{b(a+c)}{24\sqrt{(a^2+b^2)}}$. Se non vi fossero fabbriche esteriori connesse ai muri dell'edificio si dovrebbe modificare la formola ponendovi $c = a$.

I risultati di questa regola corrispondono quasi esattamente con le effettive grossezze de' muri laterali delle navi principali nelle più insigni basiliche di Roma, di Firenze, e di Napoli. È questa una dimostrazione di fatto della validità di essa regola. Così per es. nella gran basilica di s. Paolo, ove in misura metrica era $a = 30,47$, $b = 23,87$, $c = 8,49$, i muri che comprendevano la nave di mezzo avevano m. 0,97 di grossezza, mentre, in corrispondenza degli annunciati valori di $a$, di $b$ e di $c$, dalla formola testè dedotta si ottiene la grossezza $y = 1$, valore che quasi nulla differisce dall'effettivo. Così pure nella basilica di santa Maria maggiore, in cui $a = 18,36$, $b = 17,10$, $c = 6,39$, la formola risultante dalla regola del Rondelet darebbe $y = 0,70$; e prossimamente la grossezza reale de' muri della gran nave di quella basilica è di circa m. 0,78.

§. 622. In tutte le chiese di forma basilicale esaminate dal Rondelet, ha questi osservato che i muri laterali esteriori, quelli cioè che comprendono tutta la larghezza del tempio, quantunque molto più bassi di quelli che racchiudono la nave principale, hanno tuttavia maggior grossezza di essi. Così nella chiesa di santa Sabina sul monte Aventino la grossezza dei muri esteriori è di m. 0,70, mentre l'effettiva grossezza di quelli della nave di mezzo non giugne a m. 0,65. L'altezza de' primi è di m. 8,44; onde si ravvisa che in essi la grossezza è un dodicesimo dell'altezza, e corrisponde quindi alla regola già fissata per le grossezze de' muri rettelinei isolati (§. 618). Nella basilica di san Paolo, ove i muri intorno alla gran nave avevano, come si è detto (§. 621), m. 0,97 di grossezza, quelli che formavano i fianchi esteriori dell'ultime navate laterali dell'edificio erano grosse m. 2,27. Questi avevano poco meno di m. 13 d'altezza, onde quand'anche si stia al massimo della precitata regola de' muri isolati, la grossezza loro non avrebbe dovuto esser maggiore di m. 1,62. Ed è facile di comprendere che non a caso, ma con savio accorgimento, si condussero in ciò i costruttori, atteso che ai muri laterali esterni di questa sorta d'edifici spetta di resistere alla spinta orizzontale, che può immediatamente derivare dalle semincavallature del tetto ad una falda (§. 302), che ricopre le laterali navate; ed inoltre di far fronte, mediante le stesse interposte semincavallature, a qualunque tendenza, che potesse insorgere ne' muri delle navi intermedie,

a spostarsi dalla giacitura verticale. E più che in qualunque altra basilica valeva questa ragione nell'anzidetta di s. Paolo, ove l'ampiezza del coperto ad una falda sulle due navi secondarie, che dall'una e dall'altra parte facevano ala a quella di mezzo, era di presso a 19 metri, ed i muri intermedi, essendo tutti sostenuti da colonne isolate, e di non molta grossezza, avrebbero forse potuto facilmente strappiombare senza quei robusti rinfianchi de' muri esteriori.

§. 623. Altre regole si prescrivono per la determinazione della grossezza de' muri nelle fabbriche divise in vari piani per mezzo d'ordinari solai, la distanza scambievole dei quali suol essere non maggiore di m. 5. In questi edifici convien distinguere i muri d'ambito o esteriori, cui i pratici danno il nome di muri di *telaio*, ed anche di muri *maestri*, i quali tutta racchiudono all'intorno la fabbrica, e sono da capo a piedi abbandonati a se stessi dalla parte esterna, concatenati bensì internamente dal tetto, dai solai, e dai muri divisori; ed i muri interni, che sono appunto i muri divisori, detti anche muri di *tramezzo*, perchè dividono i piani dell'edificio, a seconda della destinazione di questo, in più o meno ambienti opportunamente distribuiti.

Quando si considerano due opposti muri di telaio, relativamente a questi l'edificio dicesi *semplice* se non havvi alcun muro interno parallelo ad essi, che suddivida lo spazio contenuto; dicesi *doppio* se lo spazio intercluso è diviso in due parti da un muro interno parallelo a quelli di telaio. Nel primo caso la grossezza di questi deve farsi uguale ad $\frac{1}{24}$ della somma della larghezza dell'edificio, vale a dire della distanza che passa fra i due muri, e della metà dell'altezza di questi fino alla gronda del tetto. Così per es. se la larghezza di una fabbrica semplice fosse di m. 8; e la sua altezza fino alla gronda fosse di m. 12, la grossezza dei muri di telaio dovrebbe essere di m. 0,58. Nel secondo caso la grossezza di ciascuno dei due muri di telaio sarà uguale ad $\frac{1}{24}$ della semisomma della larghezza e dell'altezza: onde se per es. la larghezza fosse di m. 14 e l'altezza di m. 12, come nell'esempio antecedente, si dovrebbe assegnare ai muri di telaio una grossezza di m. 0,55. La medesima legge dovrebbe estendersi agli edifici *tripli*, *quadrupli*, ec. ove cioè fra i due opposti muri di telaio ne esistono due, tre, ec. paralleli a quelli: onde per un edificio triplo la grossezza de' muri di telaio verrebbe uguale ad $\frac{1}{24}$ della somma della metà dell'altezza e di un terzo della larghezza, e così via discorrendo. In qualunque fabbrica sarebbe dunque da determinarsi la grossezza de' muri di telaio considerandoli a due per due, uno opposto all'altro, ed applicando la regola,

secondo che relativamente ad essi l'edificio fosse semplice, o doppio, o triplo o ec. E così a ciascheduna coppia apparterrebbe una grossezza propria, e potrebbe nascere qualche differenza di grossezza da una coppia all' altra. Ma costumandosi ordinariamente in pratica d'assegnare una stessa grossezza a tutti quanti i muri d'ambito, basterà in ogni caso di determinare con l'addotta regola la grossezza maggiore, e di adottare generalmente questa per tutti i muri maestri dell'edificio, dandole un aumento perfino d'un mezzo decimetro, quando si voglia soprabbondantemente provvedere alla stabilità.

§. 624. La regola per la grossezza d'un muro di tramezzo è di far questa uguale ad $\frac{1}{36}$ della somma della larghezza dello spazio, cui il tramezzo deve dividere, e dell'altezza del piano, cioè della distanza dei due solai, fra i quali va eretto il muro divisorio. Così se un muro dovesse dividere in due uno spazio lungo m. 13, ed alto m. 5, la grossezza d'assegnarsi al tramezzo sarebbe di m. 0,50.

§. 625. Assicura il Rondelet d'aver verificato che queste ultime regole pratiche, da lui insegnate, si trovano in una mirabile corrispondenza con le dimensioni effettive de' muri in tutte le famose fabbriche d'Andrea Palladio, sebbene la maggior parte di queste abbiano qualche numero di camere a volta. Per vedere un saggio di tale corrispondenza, assumeremo con lo stesso Rondelet l'esame del palazzo fabbricato dal grand'architetto vicentino alla Frata del Polesine per la famiglia Badoero, venuto poi in proprietà de' fratelli Mocenigo di Venezia (1). Il disegno icnografico di tale edificio vedesi nella fig. 239. Considerando prima i due muri maestri *AB*, *CD*, si scorge che relativamente a questi l'edificio è doppio, onde essendo la larghezza della fabbrica di m. 16,44, e l'altezza de' muri sotto la gronda di m. 8,58, la loro grossezza, in conformità della regola (§. 623), dovrebb'essere di m. 0,52; ed essi hanno effettivamente una grossezza di circa m. 0,53. Siccome poi le camere, secondo la lunghezza del palazzo, hanno alternativamente la larghezza di m. 5,72, e di m. 2,86, onde la lunghezza degli spazi che debbono essere tramezzati dai muri *MN*, *PQ* è prossimamente di m. 9, essendo altronde la distanza fra il pavimento ed il solaio di m. 5,72, così la grossezza di questi muri divisori dovrebb'essere, in conformità della regola, di m. 0,41; ed è effettivamente di circa m. 0,42.

Il Rondelet non fa parola de' muri divisori trasversali *GH*, *o*, *o*; i quali, se prestiamo fede alla pianta, che abbiamo innanzi agli occhi, sarebbero in realtà di grossezza uguale a quella degli altri che abbiamo

(1) *Le fabbriche e i disegni di Andrea Palladio raccolti ed illustrati da Ottavio Bertotti Scamozzi*. Vicenza 1786. Vol. III pag. 41 tav. XLI.

testè considerati. Pure poichè essi dividono uno spazio molto più lungo, essendo questo di m. 15,37, a tenore delle regole competerebbe ai medesimi la grossezza di m. 0,58, che è alquanto maggiore di quella dei muri maestri *AB*, *CD*.

§. 626. Giova evidentemente per ogni riguardo alla stabilità de' muri, che la grossezza di essi venga gradatamente aumentandosi verso la base, o viceversa assottigliandosi verso la sommità. Ma quest' assottigliamento delle muraglie non deve procedere andantemente dalla base alla cima, poichè in tal caso non verticali, ma bensì inclinate diverrebbero le due facce del muro, o almeno una di esse. Per la qual cosa suol praticarsi di scemare la grossezza a riprese nei diversi piani dell' edificio, formando a ciascun piano una risega, come nel passaggio dai muri di fondamento a quelli sopra terra (§. 579), senza alterare la verticalità delle facce del muro. Queste riseghe possono farsi nella parte esterna de' muri, purchè ciascuna di esse venga occultata da una fascia, o da una cornice sporgente, come negli anfiteatri di Verona e di Pola, onde l' occhio non sia offeso da quei nudi risalti: ma per lo più si pongono internamente a livello de' pavimenti de' vari piani, ove restano affatto invisibili, come si osserva nell' anfiteatro Flavio. Pei muri d' ambito si prescrive che generalmente la contrazione totale non abbia ad esser minore di una quarta parte della grossezza alla base (1). Lo Scamozzi stabiliva (2) che in un edificio a tre piani, della totale altezza di m. 28,59, i muri maestri dovessero farsi di grossezza uguale a tre lunghezze di mattone, cioè a m. 0,71 circa per tutta l' estensione del primo piano; e che a ciascuno degli altri due piani la contrazione dei muri dovess' essere uguale alla metà della lunghezza del mattone, cioè a m. 0,12 prossimamente, in guisa che al terzo piano la grossezza de' muri si riducesse al doppio di tale lunghezza, vale a dire a m. 0,47 circa. Ed il Belidor di poco si allontanava dalla regola dello Scamozzi, mentre insegnava (3) che a ciascun piano ascendendo i muri maestri dovessero scemare in grossezza di circa m. 0,16. Quanto ai muri di tramezzo vuole il Rondelet che discendendo da un piano all' altro abbiano essi ad aumentare di m. 0,027 in grossezza, se sono costrutti di pietrame leggero e tenero come il tufo; e di m. 0,013 quando son fabbricati di laterizi, o di pietrame forte: ben inteso che la grosssezza determinata con la regola generale poc' anzi addotta (§. 624) debba

(1) Milizia — *Principii d' Architettura* — Parte III lib. III cap. I.
(2) *Dell' idea dell' architettura universale*. Parte II lib. VIII cap. XI.
(3) *La science des ingenieurs* — Lib. IV cap. XIII.

appartenere al piano supremo, e quindi accrescersi progressivamente nell'indicata ragione nei successivi piani inferiori. Così se la prefata regola desse pei muri divisori dell'ultimo piano superiore la grossezza di m. 0,40, le grossezze degli stessi muri al penultimo, e di mano in mano ai susseguenti piani, dovrebbero essere di m. 0,413, di m. 0,427, di m. 0,440, ecc, se la struttura fosse laterizia ovvero in pietrame forte; e di m. 0,427, di m. 0,454, di m. 0,481 ecc, se si trattasse di una costruzione in tufo o altra pietra debole.

§. 627. Alle premesse regole pratiche gioverà d'aggiungere la notizia dei limiti entro i quali lo stesso Rondelet ha verificato esser contenute le reali grossezze de' muri in una quantità di buone fabbriche di vario genere, esistenti nella Francia e nell'Italia. Queste cognizioni potranno servire in ogni caso di rincontro ai risultati delle predette regole, le quali essendo meramente empiriche, danno bensì una ragionevole sicurezza, ma vogliono essere applicate con giudiziosa circospezione.

1. Nelle fabbriche semplicemente coperte d'un tetto a due falde, se abbiavi o no un solaio giacente sotto l'incavallatura, la minima grossezza effettiva de' muri laterali ben costrutti in pietrame ovvero in mattoni, è uguale ad un ventiquattresimo della distanza interna di essi muri.

2. Nelle case private, di vari piani separati per mezzo di solai, la grossezza reale de' muri di telaio è compresa fra m. 0,40, e m. 0,65; quella de' muri principali, ed intermedi, fra m. 0,43, e m. 0,54; e finalmente quella de' muri di tramezzo fra m. 0,32, e m. 0,49.

3. Nei casamenti più grandi i muri maestri son grossi da m. 0,65 a m. 0,97; i principali muri intermedi da m. 0,54, a m. 0,65; e quelli di tramezzo da m. 0,40 a m. 0,54.

4. Finalmente ne' palazzi ed in generale ne' più cospicui edifici, che hanno gli appartamenti terreni a volta, la grossezza de' muri maestri è compresa fra m. 1,30, e m. 2,92; e quella di muri divisori fra m. 0,65 e m. 1,95.

§. 628. Abbiamo di già notato (§. 616) che la stabilità di resistenza è affatto indipendente dalla grossezza, e dall'area della base, in quei muri che non hanno a sopportare altro peso che il proprio; e che in questi, cotale specie di stabilità non vien meno, per tenue che sia la grossezza, finchè l'altezza non supera un certo limite, che per le nostre muraglie laterizie fu trovato di m. 113. Ora siccome non havvi esempio, non solo nell'ordinarie ma anche nelle più straordinarie costruzioni, che un muro pieno, e di grossezza uniforme, sia portato a tant'altezza, così in generale la stabilità di simili muri è soprabbondantemente al sicuro, per quanto dipende dal rapporto fra le resistenze de' materiali, ed il peso comprimente. Ma per lo più accade che i piedritti oltre il proprio

peso sono destinati a soreggere le volte, i solai, ed i coperti degli edifici; ed avviene anche talvolta che qualche muro di molt' altezza riposa sopra una serie di colonne o di pilastri, sostenuto dagli architravi o dagli archi, che insistono a quegli staccati punti d'appoggio; onde potrebbe dubitarsi se aumentatosi il peso comprimente, ovvero diminuitasi l'area della base resistente, si mantenesse tuttavia la resistenza superiore alla compressione, siccome importa per la stabilità. Quando si tratta di casamenti o di fabbriche ordinarie di cinque, ed anche di sei piani, o per fissare un termine più proprio, di m. 26 circa d'altezza, fu calcolato dal Rondelet (1), che assegnando ai muri quelle consuete grossezze, di cui esso indicò i limiti (§. 627), e dalle quali ricavò le surriferite regole pratiche (§. 623 e seg.), il peso de' muri e di tutte le parti della fabbrica, distribuito presso a poco equabilmente sulle basi de' muri sostenitori, vi produce una pressione di chilog. 5,57 al più per ciascun centimetro quadrato dell'area premuta. Ora siccome fra le pietre da costruzione non havvene alcuna in cui la resistenza allo schiacciamento sia minore di chilog. 23 (2), mentre nei mattoni il minimo valor della resistenza si è trovato di chilog. 40 (§. 523): e niuna delle usuali malte ha mostrato resistenza minore di chilog. 29 per ciascun centimetro quadrato della base premuta (3): così non può mai nascer dubbio intorno alla stabilità di resistenza de' muri nell'accennata classe d'edifici, e quindi non occorre d'istituirne particolar esame. Ma ove in qualsivoglia straordinario edificio avvenga che sopra qualche piedritto vada ad accumularsi un carico strabocchevole, non si dovrà tralasciare di assicurarsi che la base di esso piedritto sia proporzionata a quel carico, talmente che la resistenza abbia sempre a prevalere alla forza comprimente. Così per es. per quelle colonne che debbono sostenere altissimi muri massicci, che è appunto il caso ordinario dei muri, che comprendono la nave di mezzo dell'antiche basiliche, e così pei piedritti delle grandi volte, pei piloni delle cupole, e per quei muri che debbono servir di sostegno ad elevatissime torri. In questi casi chiamando $P$ il peso estraneo, di cui dev'essere sopraccaricato il piedritto, e supponendo che sia $X$ l'area della base ed $a$ l'altezza del piedritto medesimo, ed in oltre $p$ la gravità specifica, ed $R$ la resistenza del muro allo schiacciamento: vale a dire quella della malta, o quella della pietra di cui è composto, secondo che l'una o l'altra di esse è la

(1) V. *Art de bâtir* nel luogo precitato
(2) V. Il prospetto a pag. 20 e seg.
(3) V. Il prospetto a pag. 61

minore; espressa cotesta resistenza secondo il consueto dal massimo peso che può essere sopportato da ciascun centimetro quadrato dell'area della base premuta: egli è chiaro che riducendo alla sola metà il valore della resistenza (§. 505), e moltiplicandolo per 10000, poichè si assume il metro per unità di misura, la condizione della stabilità sarà contenuta nell'equazione.

$$apX + P = 5000\,RX,$$

della quale si ricava

$$X = \frac{P}{5000\,R - ap}.$$

Quindi se saranno dati gli elementi $ap$, $PR$, si renderà nota l'area $X$, che dovrà essere assegnata alla base del piedritto, affinchè si verifichi la condizione della stabilità, dipendentemente dalla resistenza dei materiali componenti alla compressione. E quando si tratti d'un muro parallelepipedo, se intenderemo che $P'$ rappresenti quella parte del peso estraneo $P$, la quale agisce sull'unità di lunghezza, cioè sopra ciascun metro dell'estensione longitudinale del muro, chiamando $X$ la grossezza uniforme del piedritto, troveremo

$$X = \frac{P'}{5000\,R - ap}.$$

§. 629. Nell'arte di fabbricare sono sempre da valutarsi tutte quelle riprove della stabilità degli edifici, che vengono desunte dal confronto del subietto con quei monumenti dell'arte, i quali hanno dato lungo saggio della solida loro costituzione. Per la qual cosa lungi dall'aversi a riputar vane le scrupolose indagini istituite dal rinomato Rondelet (1), a fine di conoscere l'effettivo rapporto dell'area totale occupata, alla somma di quelle delle basi di tutti i muri o piedritti, in un buon numero d'edifici di vario genere antichi e moderni di provata stabilità; dobbiamo anzi sapergli buon grado che, coi risultati dell'accurate sue osservazioni, ci ha somministrato un mezzo opportuno, onde poter mettere ad un esame comparativo, e quasi di fatto, la stabilità, direm così, *basamentale* di qualunque grand'edificio. Senza entrare ne' più minuti ragguagli, esibiremo qui appresso in due separate tabelle cotesti risultati, raccogliendo in una di esse tabelle i rapporti

(1) V. la sua opera nel luogo ultimamente citato.

esistenti fra la somma dell' aree occupate dalle basi di tutti i piedritti, e l' interna superficie icuografica in molti cospicui edifici antichi e moderni ad un solo vaso, che per la maggior parte sono tempii di varie forme, e di varia architettura; e registrando nell' altra i valori medii de' medesimi rapporti effettivi pei palazzi e pei casamenti di diversi paesi, di varie epoche, e di varia struttura. Nè tampoco vorremo impegnarci in lunghe osservazioni, che ci condurrebbero oltre i limiti che ci siamo prefissi; nè presumeremo di ricavare da fatti così vaghi alcuna regola generale; ma lasceremo che gli istudiosi e gli esperti costruttori approfittino all' opportunità di questi vari termini di confronto, a seconda delle condizioni e delle circostanze degli edifici, cui dovranno progettare, o de' quali vorranno esaminare la stabilità.

## TABELLA I.

*Che dimostra il rapporto esistente fra il complesso dell' aree occupate dalle basi di tutti i piedritti e la totale superficie icuografica in molti palazzi e casamenti antichi e moderni, secondo le osservazioni del Rondelet.*

| numerazione | Specificazione degli edifici esaminati | rapporto dell' area totale a quella occupata dai piedritti |
|---|---|---|
| 1 | Palazzi di Parigi e de' suoi dintorni, come quelli del Louvre, delle Tuileries, del Luxembourg, e di Versailles, esclusi i vani di porte e di finestre . . . . . . . . . . | 0,388 |
| 2 | Palazzi di Roma aventi ordinariamente le stanze terrene a volta, detratti i vani di porte e di finestre. . . . . . | 0,222 |
| 3 | Casamenti parigini di vari piani costrutti sulla fine del regno di Luigi XIV, e sul principio di quello di Luigi XV . . | 0,166 |
| 4 | Edifici diruti con volte, dell' antica villa Adriana, presso Tivoli. | 0,155 |
| 5 | Palazzi del Palladio, i quali hanno per lo più i piani terreni a volta | 0,153 |
| 6 | Casamenti parigini di vari piani, posteriori ai primi anni del regno di Luigi XV. . . . . . . . . . . | 0,122 |
| 7 | Edifici diruti, senza volte, della predetta villa Adriana | 0,118 |
| 8 | Casamenti del Belgio con muri di mattoni | 0,117 |

## TABELLA II.

*Che dimostra il rapporto esistente fra l'aggregato dell'aree occupate dalle basi di tutti i piedritti, e la totale superficie icnografica in diversi ragguardevoli edifici ad un solo vaso antichi e moderni, secondo l'osservazioni del Rondelet.*

| numerazione | Nominazione degli edifici esaminati. | superficie totale icnografica | superficie occupate de' piedritti | rapporto delle seconda alla prima |
|---|---|---|---|---|
| | | m. q. | m. q. | |
| 1 | Cupola dell' ospizio degli invalidi a Parigi . . | 2695 | 724 | 0,268 |
| 2 | Tampio di s. Pietro in Vaticano . . . . | 21103 | 5612 | 0,261 |
| 3 | Panteon di Roma . . . . . . | 3182 | 739 | 0,232 |
| 4 | Tampio antico creduto di Minerva medica a Roma . | 856 | 201 | 0,226 |
| 5 | Tempio di s. Pietro in Vaticano giusto il disegno di Bramante . . . . . . . . | 19843 | 4355 | 0,219 |
| 6 | Tempio di s. Sofia a Costantinopoli . . . | 9591 | 2097 | 0,217 |
| 7 | Tampio di s. Maria de' fiori a Firenze . . | 7881 | 1583 | 0,201 |
| 8 | Tampio della Concordia ad Agrigento . . | 637 | 124 | 0,194 |
| 9 | Edificio nel centro delle terme di Caracalla . | 25604 | 4499 | 0,176 |
| 10 | Gran tempio di Pesto . . . . . . | 1427 | 246 | 0,172 |
| 11 | Tempio di s. Paolo a Londra . . . . | 7809 | 1330 | 0,170 |
| 12 | Edificio nel centro delle terme di Diocleziano . | 32680 | 5464 | 0,167 |
| 13 | Tempio di Giunone Lucina ad Agrigento . . | 634 | 103 | 0,163 |
| 14 | Duomo di Milano . . . . . . | 11696 | 1986 | 0,161 |
| 15 | Tempio di s. Vitale a Ravenna . . . . | 676 | 106 | 0,157 |
| 16 | Tempio di s. Pietro in Vincoli a Roma . . | 2000 | 312 | 0,155 |
| 17 | Panteon francese, oggi tempio di S. Genueffa . | 5594 | 861 | 0,154 |
| 18 | Tempio di s. Sulpizio a Parigi . . . . | 5647 | 848 | 0,151 |
| 19 | Tempio di s. Domenico a Palermo . . . | 3173 | 464 | 0,146 |
| 20 | Tempio di nostra Donna a Parigi . . . | 6259 | 816 | 0,130 |
| 21 | Tempio di s. Giuseppe a Palermo . . . | 2421 | 336 | 0,139 |
| 22 | Tampio di s. Filippo Neri a Napoli . . . | 2121 | 274 | 0,129 |
| 23 | Tempio antico della Pace a Roma . . . | 6238 | 797 | 0,125 |
| 24 | Edificio chiamato *Halle au Bled* a Parigi . . | 2466 | 308 | 0,125 |
| 25 | Tampio di s. Paolo fuori delle mura di Roma . | 9899 | 1176 | 0,112 |
| 26 | Tempio di s. Sabina a Roma . . . . | 1407 | 143 | 0,100 |
| 27 | Edificio *Halle au Bled* di Parigi, supponendo il cortile coperto di volta . . . . . | 3660 | 308 | 0,084 |
| 28 | Tampio di s. Stefano rotondo a Roma . . | 3413 | 191 | 0,056 |

§. 630. Facendoci ora a considerare la stabilità di que' muri o piedritti, che sono destinati a resistere all'azione di qualche spinta laterale, non avremo che a richiamare le formole generali, somministrateci a tal uopo dalla meccanica, e a far vedere come possano opportunamente applicarsi alle pratiche disquisizioni; prendendo singolarmente di mira il caso di quei muri, che trovansi esposti alla spinta d'un terrapieno, e di quelli che debbano resistere alla pressione, e all'urto dell'acqua. Le condizioni particolari della stabilità pei piedritti degli archi e delle volte sono essenzialmente implicate ne' canoni statici dell'equilibrio, e della saldezza degli archi e delle volte medesime, dei quali dovremo riassumere l'esame nel seguente capitolo.

§. 631. Ripigliando pertanto ordinatamente le formole statiche dell'equilibrio, e della stabilità de' piedritti, quali ci vengono offerte nei vulgatissimi elementi del Venturoli (1), noteremo.

1.° Che in generale qualora contro un piedritto, simmetrico attorno del piano verticale $ABCD$ (fig. 240), che abbia in $G$ il suo centro di gravità, e di cui il peso sia $M$, agisca una forza obliqua $S$ diretta per quello stesso piano, ed equivalente a due spinte una $P$ verticale, l'altra $Q$ orizzontale, chiamando $x$, ed $y$ le due coordinate $AE$, $FS$ d'un punto qualunque $S$ preso ad arbitrio sulla direzione $SR$ della forza, e $k$ l'ascissa $AX$ del centro di gravità, ed esprimendo per $f$ il coefficiente dell'attrito, la stabilità del piedritto dipende da queste due condizioni

$$f(M+P) > Q; \qquad Mk+Px > Qy;$$

delle quali la prima può dirsi la condizione delle forze, e riguarda la possibilità che alla massa del piedritto venga per l'azione della spinta impresso un movimento di traslazione verso il punto $A$, e la seconda, che può chiamarsi condizione de' momenti, provvede al caso che il piedritto potesse spostarsi con un movimento rotatorio intorno al punto $A$. Ora è chiaro che gli elementi $M$, $k$ contengono implicitamente le dimensioni del piedritto, dipendentemente dalla forma di esso; e quindi generalmente dovranno tali dimensioni essere determinate in guisa, che ne risultino tali valori di $M$ e di $k$, per cui entrambe le condizioni della stabilità si trovino adempite.

Più semplicemente la condizione de' momenti può esprimersi, senza risolvere la spinta S, solo che si conduca pel punto $A$ la normale $AZ$ sulla direzione $SR$ della spinta stessa; poichè evidentemente il piedritto

(1) Vol. I. Lib. IV cap. I, II, e III.

non potrà rovesciarsi girando intorno al punto $A$ sempre che sia $M \times AX > S \times AZ$. E sinteticamente se intendesi prolungata la verticale $XG$, condotta pel centro di gravità del solido, sinchè giunga ad incontrare in $I$ la direzione $SR$ della spinta, ed applicate al punto $I$ le due forze $M$, $S$, affinchè il piedritto non possa concepire un movimento rotatorio intorno al punto $A$, sarà d'uopo che la direzione della risultante di codeste due forze intersechi la base $AB$ del piedritto fra i punti $A$ e $B$.

2.° Se il piedritto sia un muro rettangolare, e sia $a$ la sua altezza, $b$ la sua grossezza, supponendo che venga stimolato semplicemente da una spinta orizzontale $Q$ sull'unità della sua lunghezza, sarà la condizione delle forze così espressa, $abfG > Q$; e quella de' momenti $ab^2G > 2Qy$. Laonde se si supponga un muro laterizio, alto m. 12, stimolato verso la sommità da una spinta orizzontale di chilog. 4500, facendo $f = 0,75$, e $G = 1522$ (§. 554), si troverà, che per la prima condizione basterebbe che la grossezza del muro fosse maggiore di m. 0,33, ma che per l'adempimento della seconda converrà che la grossezza $b$ sia maggiore di m. 2,43.

3.° Che se il muro in vece di essere rettangolare avesse una scarpa esteriore, e fosse $p$ il piede, o vogliam dire la base della scarpa stessa; ritenendo le precedenti denominazioni, e continuando a supporre la sola spinta orizzontale $Q$, le condizioni della stabilità sarebbero

$$afG(2b+p) > 2Q; \quad aG(3b^2+6bp+2p^2) > 6Qy.$$

Per lo che se con tutti i dati dell'esempio precedente si volesse dare al muro esternamente una scarpa, la di cui base fosse una sesta parte dell'altezza, cioè $p = 2$, si verrebbe a conoscere, che per l'adempimento della prima condizione basterebbe qualunque picciola grossezza, poichè essa si verifica ancora facendo $b = 0$; ma che la seconda esige che il muro abbia una grossezza maggiore di m. 0,69. Ovvero se fosse prescritto che la grossezza del muro nella sommità dovesse essere d'un metro, e le condizioni della stabilità avessero a restar soddisfatte per una opportuna misura della scarpa, o sia per un opportuno valore di $p$, risulterà dalla seconda di esse condizioni $p > 1,60$, valore soprabbondantissimo per la prima condizione, che sussiste quand'anche si faccia $p = 0$.

4.° Qualora poi si volesse porre la medesima scarpa dalla parte interna del muro, la condizione delle forze si manterrebbe la stessa, che nel caso precedente; ma la condizione de' momenti diverrebbe

$$aG(3b^2+3bp+p^2) > 6Qy.$$

Quindi pel solito muro laterizio, stimolato alla sommità da una spinta orizzontale di chilog. 4500, e munito di una scarpa interna, di cui la base fosse un sesto dell'altezza, sarebbe necessaria una grossezza maggiore di m. 1,11. E quando fosse fissata la grossezza di m. 1, e dovesse determinarsi la scarpa necessaria per la stabilità, si troverebbe $p >$ m. 2,62.

5.° Il momento della residenza di un muro rettangolare, di cui l'altezza sia $a$, e la grossezza $b + \frac{p}{2}$, è espresso dalla formola

$$aG\left(\frac{b^2}{2} + \frac{bp}{2} + \frac{p^2}{8}\right):$$

quello d'un muro della stessa altezza, che abbia in sommità la grossezza $b$, e sia internamente formato a scarpa, essendo $p$ il piede di questa risulta uguale ad

$$aG\left(\frac{b^2}{2} + \frac{bp}{2} + \frac{p^2}{6}\right):$$

e finalmente per un muro di eguale altezza ed ugualmente grosso nella sommità, il quale abbia la medesima scarpa dalla parte esterna, il momento della resistenza è

$$aG\left(\frac{b^2}{2} + bp + \frac{p^2}{3}\right).$$

Paragonando insieme questi tre momenti si scorge a colpo d'occhio, che il terzo è maggiore del secondo, e questo del primo, mentre il volume del muro sull'unità di lunghezza è constantemente in tutti tre i casi, cui appartengono tali momenti, espresso da $a\left(b + \frac{p}{2}\right)$. Quindi è chiaro che, in parità di volume, il muro a scarpa resiste con maggior momento ad una spinta orizzontale, di quello che un muro rettangolare; e più resiste se la scarpa è apposta dalla parte esterna, di quello che se la scarpa stessa sia praticata dalla parte interna del muro.

6°. Se un muro rettangolare sia rinfiancato da contrafforti esteriori parallelepipedi, uguali, ed equidistanti, le condizioni della sua stabilità, supponendolo stimolato da una semplice spinta orizzontale $Q$, agente all'altezza $y$, e supponendo che sia $c$ la lunghezza di ciascun contrafforte, $q$ la di lui grossezza, e $d$ la distanza fra l'uno e l'altro di essi da mezzo a mezzo, ritenute nel resto le antecedenti denominazioni, saranno

$$afG(bd+cq)>dQ;\ aG(b^2d+2bcd+c^2q)>2dQy;$$

delle quali secondo il solito la prima concerne la possibilità del movimento progressivo, la seconda quella del movimento rotatorio del piedritto. Avvertasi che codeste due condizioni sono dedotte non già dalla considerazione d'un tratto di muro di lunghezza uguale all'unità lineare, come ne' casi precedenti, ma bensì d'un tratto di lunghezza $d$, nel mezzo del quale cade uno de' contrafforti.

Supponghiamo per es. che si trattasse di un muro laterizio della solita altezza di m. 12, stimolato in sommità da una spinta rappresentata da chilog. 4500, e rinfiancato da contrafforti esteriori distanti m. 5 l'uno dall'altro da mezzo a mezzo, e ciascuno di essi lungo m. 1,50 e grosso m. 1; ed esaminiamo quanto dovrebb'essere la grossezza $b$ di esso muro. Si troverà che per la prima condizione sarebbe sufficiente che la grossezza $b$ fosse maggiore di m. 0,10; ma che per la seconda occorre che la grossezza del muro sia maggiore di m. 1,27.

7°. Nell'ipotesi che gli stessi contrafforti sieno ugualmente distribuiti lunghesso l'interno del muro, non si muta la condizione delle forze; per altro quella de' momenti addiviene

$$aG(b^2d+2bcq+c^2q)>2dQy.$$

Onde se questa variazione nell'apposizione de' piedritti avesse luogo nel precedente esempio, si dedurrebbe che la grossezza $b$ del muro dovrebbe in tal caso farsi maggiore di m. 2,05.

Ed in generale tanto in questo quanto nel caso antecedente, date che sieno tutte le dimensioni del muro e del contrafforte meno una, si potrà questa determinare mediante le dedotte condizioni, in modo che resti provveduto alla stabilità.

8°. In un muro rettangolare che abbia l'altezza $=a$, e la grossezza $=b+\frac{qc}{d}$ hassi il momento della resistenza espresso da

$$aG\left(\frac{b^2}{2}+\frac{bcq}{d}+\frac{c^2q^2}{2d^2}\right):$$

parimenti nel muro a contrafforti parallelepipedi interni, che abbiamo testè considerato, il momento della resistenza è

$$aG\left(\frac{b^2d}{2}+bcq+\frac{c^2q}{2}\right):$$

e così nell'altro muro a contrafforti esterni, di cui abbiamo precedentemente parlato (n°. 6), si ha il momento

$$aG\left(\frac{b^2d}{2}+bcd+\frac{c^2q}{2}\right):$$

Ora qui pure, confrontando questi tre momenti, è facile di ravvisare, che il terzo è maggiore del secondo, e che questo supera il primo, mentre il volume è lo stesso in tutti tre i muri, cioè $=a(bd+cq)$. Si deduce quindi che in parità di volume il muro munito di contrafforti resiste più saldamente d' un semplice muro rettangolare alla spinta orizzontale, e che maggior vantaggio si ottiene dai contrafforti esterni che dagli interni.

9.° Se ad un muro rettangolare sieno applicati de' contrafforti esterni a base trapezia, ciascuno dei quali abbia la grossezza alla sua origine, o sia *il collo*, ove si attacca al muro rettangolare, uguale ad $r$, e la grossezza al suo termine, o sia *la coda*, uguale a $q$; fermi gli altri dati e denominazioni stabilite ne' casi antecedenti; le condizioni della stabilità sono

$$aG[2bd+c(q+r)]>2dQ;\ aG[3b^2d+6bcd+c(q+2r)]>6dQy;$$

nella seconda delle quali si scorge che il momento, e quindi il vantaggio de' contrafforti, è maggiore se $r>q$, che nel caso inverso.

10.° Qualora gli stessi contrafforti a base trapezia fossero disposti lungo l' interno del muro, non si cangerebbe la condizione delle forze, bensì quella de' momenti sarebbe

$$aG[3b^2d+6bc(q+r)+c^2(2q+r)]>6dQy.$$

E qui sarebbe maggiore il vantaggio se fosse $q>r$, che nel caso inverso; onde l' utilità de' così detti contrafforti a *coda di rondine* sussiste soltanto quand' essi sono apposti dalla parte interna del muro.

11.° E sarebbe qui pure facile di mostrare che in parità di volume il muro a contrafforti di base trapezia è più robusto di quello a contrafforti parallelepipedi posti dalla stessa parte, e maggiormente ancora più robusto d' un semplice muro rettangolare: e che anche i contrafforti a base trapezia danno un maggior vantaggio se sono applicati esternamente al muro, di quello che se sono collocati dal lato interno.

12.° Sogliono anche talvolta rinforzarsi i piedritti per mezzo di *speroni*, i quali altro non sono che contrafforti a scarpa, e diconsi anche *barbacani*. Lasceremo agli studiosi la cura di rintracciare le condizioni della stabilità per questa sorta di rinfianchi, distinguendo i diversi casi che può offrire la loro esterna ovvero interna disposizione, e la varia figura delle loro basi. In ogni modo possono rinvenirsi le formole appartenenti a questi vari casi nelle aggiunte recentemente fatte

dal Masetti (1) alla più volte citata opera del Venturoli, la quale è il testo, cui costantemente ci riportiamo per tutto ciò che concerne le dottrine meccaniche ed idrauliche.

§. 632 Tutte le precedenti formole della stabilità de' piedritti, relativamente all' attitudine de' medesimi di resistere ad una spinta laterale, furono dedotte nella meccanica indipendentemente da ogni considerazione della tenacità, che tiene unito il muro alla sua base, e fa essa pure non lieve contrasto alla spinta, opponendosi così al movimento progressivo come al movimento rotatorio della massa del piedritto. Il Navier (2) ha recentemente fatto prova d' introdurre ne' calcoli statici dell' equilibrio de' piedritti cotesto nuovo elemento di resistenza. Ma questo passo, mentre tende senza dubbio al perfezionamento della teoria, poco o niun vantaggio reca alla pratica; atteso che per quanto matematicamente rigorose sieno le formole della stabilità, che ne risultano, nell' applicazione delle medesime l' elemento dalla tenacità sarà sempre di non lieve imbarazzo; mentre per l' effettiva sua determinazione non abbiamo che troppo incerte ipotesi, e troppo vaghi risultati dall' esperienza. Altronde col trascurare la tenacità, lungi dal compromettere, si assicura anzi la stabilità, poichè nelle condizioni di questa non si mette in conto un elemento reale della resistenza del piedritto, e quindi le dimensioni di questo, determinate in corrispondenza di codeste condizioni, debbono di già esser maggiori di quanto basterebbe pel puro equilibrio: sebbene prudentemente si consiglia di aumentare alquanto a discrezione, giusta le circostanze, quelle dimensioni, così determinate per mezzo delle formole superiormente esposte, a fine di mettere in ogni caso soprabbondentemente al sicuro la stabilità de' piedritti.

§. 633. Discendiamo al caso particolare di que' muri, i quali son destinati a servir di rivestimento, e quasi di sponda, ad un ammasso di terra, e quindi a resistere alla spinta che procede dalla tendenza che ha il terreno ad espandersi, per acquistar quella scarpa, sotto la quale l' ammasso può mantenersi da se medesimo in equilibrio (§. 3). La meccanica, in conformità della già altra volta ricordata ipotesi del Coulomb (§. 4), ci fornisce i valori di questa spinta e del di lei momento, corrispondentemente all' unità longitudinale del riparo, contro cui agiscono. La prima è espressa dalla formola $\frac{a^2 g \tang. m}{2}$; ed il valore del secondo si

(1) *Note ed aggiunte agli elementi di meccanica ed idraulica del P. Venturoli* Bologna 1827. Vol. I pag. 246.

(2) *Résumé des leçons ecc. sur l' application de la mécanique à l' établissement des constructions et des machines*. Parte I sez. II artic. III.

ha dall'altra formola $\frac{a^3 g \text{ tang. } m^2}{6}$ (1), nelle quali $a$ esprima l'altezza del terrapieno, $g$ la gravità specifica del terreno, ed $m$ la metà dell'angolo che ha per tangente $\frac{1}{f'}$, essendo $f'$ il coefficiente dell'attrito per le terre; vale a dire la metà dell'angolo della scarpa necessaria affinchè la terra si tenga da se medesima in equilibrio, ove non venga ritenuta da verun ostacolo. Mettendo al solito confronto la resistenza, ed il momento della resistenza del muro di rivestimento, con la spinta del terrapieno, e col suo momento, si otterranno le due condizioni della stabilità, per mezzo delle quali, data la forma del muro di rivestimento, e tutte le sue dimensioni a riserva di una, si potrà questa determinare in guisa che la stabilità resti convenientemente assicurata.

Così per un muro rettangolare essendo la resistenza $= a b f G$, ed il suo momento $= \frac{a b^2 G}{2}$ (§. 631 n°. 2) le condizioni della stabilità, fatte le opportune riduzioni, saranno

$$b f G > \frac{a g \text{ tang. } m^2}{2}; \qquad b^2 G > \frac{a^2 g \text{ tang. } m^2}{3}.$$

E così pure facilmente si determineranno le condizioni della stabilità pei muri a scarpa, e per quelli che sono muniti di contrafforti o di speroni, adoperando le formole della resistenza, che competono ai vari casi, e i corrispondenti momenti, a tenore di quanto si è poc'anzi mostrato (§. precit.).

§. 634. I richiamati valori della spinta d'un terrapieno, e del suo momento, diventano maggiori del vero, tutte le volte che il terreno non è perfettamente sciolto, ma ha le molecole aderenti l'une all'altre con più o meno tenacità, come succede quasi sempre nelle terre vergini, e spesso anche in quegli artificiali ammassi, che sono stati lasciati per lungo tempo in riposo (§. 5.). In tali casi l'eccessiva valutazione della spinta, e del suo momento, convalida sempre più le condizioni della stabilità; e per un'altra parte sarebbe poca prudenza diminuire il valore della spinta in coteste condizioni in grazia della coerenza molecolare, poichè questa è instabile, e può venir meno o del tutto o in parte col progresso del tempo, segnatamente se l'ammasso sia soggetto ad

(1) Venturoli *Elementi di meccanica e d'idraulica* Vol. I Lib. IV cap. IV.

essere invaso dall'acqua. Onde se il Prony (1), mise perspicacemente a calcolo nella determinazione della spinta d'un terrapieno e del suo momento l'azione della coerenza molecolare del terreno, emendò invero un difetto della teoria, ma senza verun profitto della pratica; poichè in ogni modo nell'applicazione delle formole da lui dedotte, per la sicurezza della stabilità sarebbe d'uopo di supporre eguale a zero l'elemento della coesione molecolare del terreno, e quindi si ritornerebbe a quelle stesse espressioni della spinta e del suo momento, che abbiamo poc'anzi rammentate. E gioverà inoltre d'avvertire che le formole addotte sono pur favorevoli alla stabilità, perchè in esse non si è tenuto conto dell'attrito, nè della coerenza della terra sulla superficie interna del rivestimento che evidentemente agiscono in favore della resistenza; sebbene il primo non vale se non che contro il movimento rotatorio del piedritto, e la seconda è sempre incerta, potendo venir distrutta da varie cause facili a ravvisarsi.

§. 635. Per le pratiche applicazioni importa di conoscere gli effettivi valori de' vari elementi di calcolo, che sono ravvolti nelle formole della spinta e della resistenza, e ne' respettivi momenti, quali sono le gravità specifiche $G$, $g$ del muro e del terreno, ed i coefficienti $f$, $f'$ dell'attrito; ovvero invece del secondo l'angolo della scarpa naturale del terreno, di cui, come abbiam detto, $m$ è la metà. Sarà sempre più opportuno di determinare tali elementi per mezzo di speciali sperienze, quando sia permesso dalle circostanze. In caso diverso converrà riportarsi ai risultati degli altrui sperimenti; e non tralasceremo quindi d'addurne qui alcuni, i quali potranno servire di norma nelle pratiche occorrenze.

1. Abbiamo più volte avuto occasione di avvertire che la gravità specifica de' nostri muri laterizi è di 1522. Per varie altre osservazioni fatte in vari paesi sembra che la gravità specifica in questa sorta di muri sia ordinariamente compresa fra 1500, e 1700. Il Navier (2) asserisce che, pel risultato medio delle sperienze, la gravità specifica di un muro in pietrame di basalte può valutarsi di 2500; quella d'un muro in pietrame granitico di 2300; finalmente quella di un muro in pietrame di pietra calcarea o silicea da 2300 a 1700. Avvertiremo per altro, che, quando non possano istituirsi apposite esplorazioni, sarà lodevole cautela di assumere nei casi di cui si tratta per la gravità specifica del muro non il medio, ma il minimo dei risultati di quelle sperienze, che da altri possono essere state tentate sopra muri composti di materiali dello

(1) *Recherches sur la poussée des terres ec.* - Paris 1802.
(2) *Résumé des leçons ec.* - Parte I sez. II artic. VI.

stesso genere di quelli della muraglia di rivestimento, che si vuol costruire, o di cui si vuol mettere ad esame la stabilità.

2. Il medesimo Navier ci offre per le più comuni specie di terra i seguenti valori medi della gravità specifica.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Terriccio o sia terra vegetale. | 1400 | Terra da mattoni. | 1900 |
| Terreno sciolto o leggiero . . | 1500 | Sabbia terrosa . . . | 1700 |
| Terreno forte . . . . . . . . | 1600 | Sabbia pura . . . | 1900 |

All'opposto di ciò che abbiamo detto circa la gravità specifica del muro dobbiamo suggerire intorno al peso specifico delle terre, che non si stia nè al minimo nè al medio dei risultati dell'esperienze, ma bensì al massimo, affinchè restando soddisfatte le condizioni della stabilità pel più gran valore supponibile della spinta e del suo momento, non possa tenersi che questi vengano mai a vincere la resistenza del muro, contro di cui si esercitano.

Ed in generale non solo in quello di cui parliamo, ma in ogni caso di ricerche o d'esami appartenenti alla stabilità de' muri, onde mettersi pienamente al sicuro, dee tenersi per massima di attribuire a ciascuna delle forze che cooperano a spingere, il massimo de' valori di cui è suscettibile, e viceversa ad ognuna di quelle che concorrano a resistere, ovvero a diminuire la spinta, il minimo de' valori di cui possa esser creduta capace.

3. L'elemento $f$, che esprime il rapporto dell' attrito alla pressione, può valutarsi nei muri laterizi, in conformità dell' osservazioni di Perronet citate dal Venturoli (1); per le quali risulta esso $=0,8$; e per più sicurezza può calcolarsi $=0,75$, come, ad imitazione dello stesso Venturoli (2), abbiamo fatto ne' precedenti esempi. Non conosciamo nessuna sperienza che possa servire alla valutazione del coefficiente $f$ nei muri di pietrame. Quanto ai muri di pietra squadrata si deduce da alcune sperienze del Boistard (3), che per una pietra calcarea molto dura tirata a pelle piana con la martellina (§. 508), il rapporto dell' attrito alla pressione può stimarsi del valor medio di 0,78, e quando si tratti d'una pietra di grana fina, con le facce orsate, si potrà fare $f=0,58$, valore risultante dalle sperienze istituite dal Rondelet (4) sulla pietra

---

(1) Volume I Lib. III cap. XII.
(2) *Ibidem*. Lib. IV cap. II.
(3) *Recueil d'expériences et d'observations faites sur différents travaux ec.* 1822 pag. 132.
(4) *Traité de l'art de bâtir*. Lib. V sez. II artic. II.

calcarea dai francesi denominata *liais*, di cui abbiamo fatto menzione nella tabella dei pesi e delle resistenze delle pietre da costruzione (pag. 22)

4. Per la valutazione del coefficiente $f'$ dell' attrito delle terre, ovvero dell' angolo $m$; giacchè questi due elementi dipendono l' uno dall' altro, come già fu avvertito (§. 633); stabilì il Venturoli (1) che generalmente per le terre sabbiose e sciolte possa farsi $f' = 0,58$, ed $m = 30°$; e per le terre forti $f' = 0,73$, ed $m = 27°$. Il primo di questi dati concorda quasi perfettamente coi risultati d' un' esperienza del Gadroy riferita da Mayniel (2), da cui apparve che l' arena fina ed asciutta abbisogna per tenersi da sè in equilibrio d' una scarpa di $\frac{5}{3}$, o sia di 1,66 di base per uno d' altezza, alla quale corrisponde un angolo di 59° con la verticale; onde ne deriva $m = 29°$ e 30', ed $f = 0,6$. Ma le terre più dense e più compatte a sentimento del Barlow (3) possono persino sostenersi con una scarpa di $\frac{5}{7}$, cui corrisponde $f' = 1,4$, ed $m = 17°$ e 30'. I risultati di varie altre sperienze sullo stesso oggetto, che trovansi raccolti nell' opera del Navier (4), sono tutti intermedi fra quelli dati dall' esperienza di Gadroy, e quelli stabiliti dal Barlow; i quali perciò possono riguardarsi siccome i limiti dei valori di $f'$, e di $m$, che competono alle diverse specie di terre. E fra questi limiti converrà quindi assumere ne' casi pratici i valori de' prefati due elementi, a norma delle varie qualità, e del vario stato delle terre: sempre avendo in mira di favorire la stabilità, conforme abbiamo detto di sopra (n.° 2)

§. 636 Suppongasi un terrapieno alto m. 12, composto di terra sciolta, che debba essere sostenuto per mezzo d' un muro laterizio rettangolare; e vogliasi determinare la grossezza di questo. Sarà $G = 1522$, $g = 1500$, $f = 0,75$, ed $m = 30°$. Ponendo questi valori nelle condizioni della stabilità (§. 633), e facendovi $a = 12$, si avrà dalla prima $b >$ m. 2,63, e dalla seconda si ricaverà $b >$ m. 3,97; onde potrà stabilirsi $b =$ m. 4, che è la terza parte dell' altezza comune del terrapieno e del muro. Ed anzi lasciando indeterminata l' altezza $a$, ed assumendo per gli altri elementi costanti di calcolo i valori testè adoperati, troveremo che nelle supposte circostanze dovrà essere dipendentemente dalla prima condizione della stabilità $b > 0,222\,a$, e dipendentemente dalla seconda $b > 0,331\,a$. E siccome le circostanze supposte sono le più contrarie, che si offrano nei casi ordinari delle costruzioni, così apparisce

(1) Vol. I lib. III cap. XII, e lib. IV cap. IV.
(2) *Traité experimental et analytique de la poussée des terres*.
(3) *An essay on the strength and stress of timber*.
(4) *Résumé des leçons ec.* Parte I sez. II artic. VI.

da questo risultato non essere mal fondata la regola pratica, adottata dai costruttori francesi (1), di assegnare in generale ai muri rettangolari, che debbono sopportare la spinta d'un terrapieno, una grossezza uguale alla terza parte dell'altezza; cioè di fare $b = 0,333\ a$.

§. 637. Se il muro di rivestimento piuttosto che rettangolare dovesse essere a scarpa, stando questa all'esterno, ed avendo un sesto di base per uno d'altezza, con tutti i medesimi dati che abbiamo assunti nel caso del muro rettangolare, si otterrebbe dalla prima condizione della stabilità $b >$ m. 1,63, e della seconda $b >$ m. 1,69. E lasciando qui pure indeterminata l'altezza $a$, fermi gli stessi valori di $G, g, f, m$, la prima condizione darebbe $b > 0,136\ a$, e la seconda $b > 0,141\ a$. Quindi si deduce che non a torto opinavasi da Coulomb (2) che per qualunque specie di terra si possa senza pericolo assegnare ai muri di rivestimento una grossezza in sommità uguale ad un settimo dell'altezza, vale a dire a $0,143\ a$, quando si dia esternamente ai muri medesimi una scarpa d'un sesto di base per uno d'altezza.

§. 638. Le terre comuni leggermente inumidite premono meno i muri di rivestimento, che quando sono perfettamente asciutte e polverose, poichè nel primo stato sono capaci di reggersi da se medesime con una scarpa meno estesa di quella, di cui abbisognano per sostenersi allorchè sono secchi. In fatti il Rondelet (3) sperimentò che una specie di terra ordinaria, la quale nello stato di perfetta scioltezza e siccità abbisognava d'una scarpa di 43° e 10', essendo alcun poco inumidita si potè sostenere con una scarpa di soli 36 gradi alla verticale. Ma se un ammasso di terra venga ad inzupparsi di molt'acqua, è forza che si gonfi, ed allora nel dilatarsi aumenta la sua pressione contro gli opposti rivestimenti. Sono in ispecial modo soggetti a gonfiarsi le terre argillose, allorchè l'acqua penetra in esse, atteso la nota facoltà dell'argilla d'assorbire avidamente l'acqua, e di ritenerla pertinacemente. Ed havvi alcune specie di terre, quali sono le pantanose, o cuorose, e quelle così dette saponacee, le quali si sciolgono talmente nell'acqua, che si stemprano in una liquida poltiglia, la quale si comporta nel premere gli opposti ripari con le stesse leggi de' liquidi. Quindi quest'ultime terre, e l'argillose antecedentemente menzionate, allorchè è presumibile il caso che l'acqua venga talvolta ad invaderle, esigono ne rivestimenti quella stessa resistenza, che abbisognerebbe se questi avessero a far fronte ad una massa liquida, di gravità specifica uguale a quella del terreno, che

(1) Gauthey - *Mémoires sur les canaux de navigation* - Mem. II parte II §. I.
(2) *Théorie des machines simples* - 1821, pag. 445.
(3) *Art de bâtir* - Lib. V sez. III artic. VI.

si tratta di sostenere. Pei terreni ordinari basterà di assegnare ai muri di rivestimento quelle grossezze, che si ricavano dalle condizioni meccaniche della stabilità, ovvero che si determinano per mezzo delle regole pratiche non ha guari accennate (§. 636, 637), avvertendo per altro di praticare sempre a traverso i muri frequenti aperture, che diconsi feritoie, alte 30 in 40 centimetri, e larghe circa un decimetro, affinchè abbiano per esse sfogo le acque, che potessero penetrar nell' ammasso; le quali se rimanessero ivi senz' esito non lascierebbero di produrre uno aumento di spinta, e potrebbero turbar la stabilità del rivestimento.

§. 639. La pressione esercitata dall' acqua contro un muro di sponda, o sia contro una diga di muro, sopra una fronte inclinata a scarpa di cui sia $a$ l'altezza, e $p$ la base, essendo $M$ la massa della diga $k$ la distanza della verticale condotta pel centro di gravità della diga stessa dal piede della fronte premuta, giusta le note leggi dell' idrostatica, è espressa da $\frac{a\sqrt{(a^2+p^2)}}{2}$ (1). Ed è noto che cotesta forza agisce normalmente alla fronte della diga nel centro di pressione, la di cui distanza della base del muro è $=\frac{a}{3}$, essendo rispettivamente $x$ la distanza della verticale per esso condotta dal piede esterno della diga (2). Riassumendo dunque le due condizioni generali della stabilità de' piedritti (§. 631)

$$f(M+P)>Q; \qquad Mk+Px>Qy;$$

troveremo, nel caso che la spinta provenga dalla pressione d' una massa d' acqua, $P=\frac{ap}{2}$ $Q=\frac{a^2}{2}$, $y=\frac{a}{3}$, e quindi le condizioni della stabilità d' una diga saranno generalmente

$$f\left(M+\frac{ap}{2}\right)>\frac{a^2}{2}; \qquad Mk+\frac{apx}{2}>\frac{a^3}{6}.$$

E siccome gli elementi $M, K, x$ implicitamente contengono le dimensioni della diga, dipendentemente dalla sua forma, così noti che sieno tutte coteste dimensioni, a riserva di una, si potrà questa determinare in modo che restino soddisfatte le condizioni della stabilità: ovvero, quando sieno date tutte le dimensioni, si potrà sempre conoscere se le condizioni medesime si trovino adempite.

(1) Venturoli · *Elementi di meccanica e d'idraulica*. Vol. II lib. I cap. VII.
(2) *Ibidem* · Cap. VIII.

§. 640. Supponendo che la diga sia di sezione trapezia, che la sua grossezza nella sommità sia $b$, che la sua altezza non sia maggiore di $a$, cioè dell'altezza della fronte premuta, e che alla sua spalla sia una scarpa, la di cui base sia $q$, essendo $G$ la gravità specifica del muro della diga, le due condizioni generali della stabilità si convertono in queste,

$$fG(2b+p+q)+fp>a;$$

$$G[2q^2+3b(2q+b)+p(3b+p+3q)]+p(3b+2p+3q)>a^2,$$

le quali facendo $p=q$ si trasformano in quest'altre

$$2fG(b+p)+fp>a;\ 3G(b+p)(b+2p)+p(3b+5p)>a^2,$$

che già si ottennero nell'idraulica (1), e si applicano al caso d'una diga rettangolare facendo in esse $p=0$.

§. 641. In quest'ultima ipotesi le condizioni della stabilità sono

$$2bfG>a; \qquad 3b^2G>a^2.$$

Ora se supponghiamo secondo il consueto $f=0,75$, $G=1,522$ (avvertendo che la gravità specifica $G$ del muro laterizio si riduce da 1522 ed 1,522, atteso che si è qui supposta la gravità specifica dell'acqua non $=1000$, ma $=1$), avremo dalla prima condizione $b>0.44\,a$, e dalla seconda $b>0,47\,a$. Quindi si scorge che la stabilità d'una diga rettangolare di muro laterizio sarà sempre assicurata, quando si ponga $b=0,5\,a$. E poichè rarissimi sono i muri, nei quali la gravità specifica sia così piccola come quella che abbiamo supposto, e nei quali quindi la resistenza non sia maggiore che nell'addotto esempio, così rimane giustificata la regola adottata dagli ingegneri francesi, di assegnare cioè in generale ai muri rettangolari, che debbono sostenere la pressione dell'acqua, una grossezza uguale alla metà dell'altezza della colonna fluida premente (2).

§. 642. Se l'acqua non solo si appoggi, alla ripa, ma venga ad investirla con una velocità dovuta all'altezza $s$, e con l'angolo d'incidenza $m$, nasceranno per quest'urto due ulteriori spinte, una orizzontale espressa da $2as$ sen. $m^2$ l'altra verticale $=2ps$ sen. $m^2$ (3), le quali supponendo che agiscano alla metà dell'altezza della fronte investita, avranno

(1) Venturoli - Vol. II lib. IV cap. IV.
(2) Gauthey - Nel luogo precitato.
(3) Venturoli - Vol. II lib. IV cap. V.

rispettivamente i momenti $a^2 s\,\text{sen.}\,m^2$, e $p s\,\text{sen.}\,m^2 (2x - \frac{p}{3})$; e quindi le condizioni della stabilità saranno

$$f(M + \frac{ap}{2} + 2ps\,\text{sen.}\,m^2) > \frac{a^2}{2} + 2as\,\text{sen.}\,m^2;$$

$$Mk + \frac{apx}{2} + ps\,\text{sen.}\,m^2 (2x - \frac{p}{3}) > \frac{a^3}{6}\; a^2 s\,\text{sen.}\,m^2;$$

le quali facilmente si adattano ai vari casi già considerati nell'ipotesi della sola pressione, e quando si tratta d'un muro rettangolare diventano

$$2bfG > a + 4s\,\text{sen.}\,m^2; \qquad 3b^2 G > a^2 + 6as\,\text{sen.}\,m^2.$$

§. 643. A sciogliercì da tutti gli impegni assunti sul principio di questo capo (§. 615) non ci resta che di aggiugnere alcune interessanti avvertenze in ordine alla distribuzione di que' vani o aperture, delle quali è frequentissimo il bisogno ne'muri de civili edifizi, per motivi di comodo o di convenienza; e che pur talvolta possono essere semplicemente richiesti dalla mira di favorire la stabilità, ovvero di contribuire all'economia della costruzione. Ed a questo proposito intendiamo solo di considerare, come di nostro istituto, ciò che appartiene alla solidità; lasciando a parte quanto concerne la parte distributiva, e la parte decorativa dell'architettura. I vani alleggeriscono le masse de'muri, e quindi generalmente sono vantaggiosi nelle masse prementi o spingenti, poichè diminuendone il peso ne scemano pure la pressione, e la spinta, ed il momento di questa: ed all' opposto sono dannosi nelle masse resistenti, atteso che, impiccolendone la base ed il peso, diminuiscono que' vari elementi, dai quali dipende la facoltà di esse masse a resistere. Premessa questa massima fondamentale, soggiugneremo que' principali canoni, che intorno alla sana economia de' vani vengono inculcati dai saggi maestri d'architettura.

1. I vani debbono sempre corrispondere verticalmente sui vani, ed i pieni sui pieni. Le trasgressioni di questo precetto producono i così detti *posamenti in falso*, ognor contrari alla solidità reale ed apparente delle fabbriche.

2. I vani vogliono essere distribuiti a regolari distanze; non troppo spaziosi, nè soverchiamente moltiplicati. Osservò il più volte ricordato Leon Battista Alberti (1), che nell'opere degli antichi i vani delle facciate

(1) Lib. I cap. XII.

non componevano giammai più che la settima, nè meno che la nona parte della superficie del muro in cui erano compresi.

3. Siccome le parti basse de' muri sono destinate a sopportare tutto il peso delle parti superiori, così ragion vuole che i vani sieno in esse meno frequenti e meno spaziosi che altrove.

4. I vani debbono tenersi lungi dagli angoli degli edifizi, i quali ne costituiscono quasi i cardini, ed abbisognano della maggior solidità. Lodasi anzi giustamente lo stile di rinforzare le cantonate delle fabbriche, dando ivi maggior grossezza al muro, ed impiegandovi una più maschia struttura siccome; osservasi in molti di quegli edifici, che possono additarsi per modelli di solida e bella architettura.

5. Quando i vani sono terminati superiormente da un semplice architrave, o sopracciglio monolite, ovvero da una piattabanda di pietre o di mattoni, è lodevolissimo espediente quello di costruirvi sopra degli archetti, i quali sgravino cotesti architravi, o piattabande del peso de' pieni soprastanti, riportandolo sulle masse laterali. Tali archetti, poichè non debbono comparire, possono farsi di sesto acuto, o sia di forma gotica, come suggeriva il Milizia (1), affinchè sieno più resistenti. Generalmente poi è biasimevole l'uso degli architravi o sopraccigli di legno, i quali sono soggetti a curvarsi, e a marcire; ed alterandosi nella forma, ovvero indebolendosene la resistenza, producono o presto o tardi inevitabili sconcerti nelle parti superiori del muro, che sono ad essi appoggiate.

## CAPO VIII.

### *Delle volte.*

§. 644. Dicesi *volta* qualunque muro che sta sospeso, e ricopre un edificio, ovvero qualche parte di esso; ed è organizzato in guisa che si sostiene e pel mutuo contrasto delle pietre che lo compongono, coadiuvato bene spesso dalla forza della malta che le congiunge; e per la resistenza di piedritti laterali, cui esso si appoggia. Ci tratterremo da prima a distinguere le varie classi e le varie specie di volte, dipendentemente dalle varie loro forme, e dalla loro geometrica costituzione. Parleremo in appresso di quanto appartiene all'effettiva costruzione di esse. E finalmente, riassumendo le condizioni teoretiche della stabilità delle volte, fornitecci dalla meccanica, non lasceremo di mostrare come

---

(1) *Principii d' architettura* - Parte III lib. III cap. I.

debbano essere apparecchiate e consultate per le pratiche applicazioni. L'argomento è uno de' più vasti e de' più intricati dell'architettura statica. Noi ne tratteremo con la consueta brevità; studiandoci nondimeno di non trascurare i punti più importanti, e le regole da osservarsi nell'occorrenze più ordinarie dell'arte.

§. 645. Qualsvoglia volta è terminata da due superficie, una inferiore, interna e concava, che dicesi *intradosso*, l'altra superiore, esterna, e convessa, la quale chiamasi *estradosso*. Si dà il nome *d'imposte* a quelle linee, in cui la superficie dell'intradosso viene a congiungersi e ad appoggiarsi ai circostanti piedritti. Vogliono principalmente distinguersi le volte in *semplici* e *composte*. Semplici sono quelle che hanno per intradosso una sola superficie curva; composte son quelle il di cui intradosso è formata dal concorso di varie superficie. Suddivideremo così le volte semplici, come le composte a seconda della figura delle basi, che debbono essere ricoperte, e quindi in ciascuna delle due classi distingueremo 1.° quelle volte che coprono una base quadrata; 2.° quelle che sovrastano ad un'area rettangolare; 3.° quelle che hanno per base un poligono regolare; 4.° quelle che s'innalzano sopra una pianta circolare; 5.° le volte a base ellittica; 6.° finalmente quelle che hanno una pianta irregolare.

§. 646. Sopra un vaso di pianta quadrata possono adattarsi due specie di volte semplici, cioè una volta a *botte*, ovvero una volta a *vela*.

1.° La volta a botte (fig. 241) ha le sue imposte nell'intersezioni d'un piano orizzontale con le facce interne di due opposti muri, ed ha per intradosso una superficie cilindrica, generata da una retta, che si move per un arco di curva, giacente fralle due imposte in un piano perpendicolare ad esse, conservandosi sempre parallela all'imposte. La curva $MN$, la quale dirige il movimento della retta generatrice dell'intradosso, costituisce il *sesto* della volta o sia la curva dell'intradosso. Ordinariamente il sesto d'una volta a botte è un arco di circolo. Se questo è di 180.° la volta dicesi di *tutto sesto*; ma se l'arco stesso è minore del semicerchio la volta dicesi di *sesto scemo*. Talvolta la curva dell'intradosso d'una volta a botte è un arco ellittico. Egli è chiaro che, poggiando la volta a botte semplicemente sui due opposti muri o piedritti $X$, $Y$, è per essa affatto indifferente che sussistano o no gli altri due muri $U$, $Z$.

Una volta a botte si trasforma in una volta piana, o sia in una piattabanda, quando la curva dell'intradosso si converte in una linea retta.

2.° Per prendere giusta idea d'una volta a vela consideriamone geometricamente la genesi. Sui quattro lati della pianta quadrata intendasi

appoggiata una calotta sferica, ovvero ellissoidica, avente per base il circolo circoscritto al quadrato stesso, e quindi s'intendano protratti superiormente i muri, finchè taglino la superficie della calotta. Quella porzione di tal superficie che verrà circoscritta dai quattro muri sarà l'intradosso della volta; le di cui imposte sono i quattro archi circolari, nei quali accadono l'intersezioni de' muri con la superficie della calotta. La volta a vela sopra una pianta quadrata prende la forma che vedesi rappresentata nella fig. 242.

§. 647. Le medesime due specie di volte semplici possono anche insistere ad una pianta rettangolare. Frequentissimo è l'uso delle volte a botte nei tempii, nelle gallerie, ne' sotterranei, ne' ponti, negli acquedotti ec. Queste volte quando sono di poca lunghezza relativamente alla distanza fra le due imposte, che costituisce l'*apertura* o sia la *corda* della volta, si distinguono con la particolar denominazione di *archi*. Nei ponti ricevono particolarmente il nome d'*arcate*.

Le scale di pianta rettangolare si ricuoprono, e si sostengono, per lo più con volte a botte inclinate. Ognuna di tali volte ha le sue imposte inclinate, nelle due intersezioni delle facce de' muri laterali con un piano acclive, parallelo a quello, che costituisce la rampa della scalinata. Di cotali volte, che diconsi *rampanti*, si offre un tipo nella fig. 243.

Talvolta anche le scale si sostengono per mezzo di volte a botte *zoppe*, nelle quali le due imposte sono bensì orizzontali, ma una più alta, ed una più bassa, come vedesi nella fig. 244. Se ne può vedere in Roma un esempio nelle scale del teatro Valle, ed un altro più grandioso nella scala del quartiere de' carabinieri a piazza del Popolo; recentissime opere architettate dal Valadier. Di simili volte o archi *zoppi* si fa anche talvolta uso nell'architettura per altre diverse occasioni.

§. 648. Ad un edifizio di pianta poligona non si adatta che una sola specie di volta semplice, ed è una volta a vela, analoga a quelle che soprappongonsi ad una pianta quadrata, e ad una pianta rettangolare (§. 646 n.° 2. e 647). Senza bisogno d'alcuna spiegazione si potrà conoscere la forma d'una volta a vela a base poligona nella fig. 245.

§. 649. Si hanno tre specie di volte semplici a base circolare.

Volte *a calotta* o sia *cupole semplici*, l'intradosso delle quali è effettivamente una calotta di qualche superficie di rivoluzione, tagliata normalmente al suo asse, che si suppone verticale. Ordinariamente le calotte sono o sferiche, ovvero ellissoidiche. Le calotte emisferiche diconsi anche calotte di tutto sesto. Quando la saetta è minore del raggio della base la calotta è di sesto *scemo*; e quando la saetta è maggiore del raggio stesso, allora la calotta dicesi di sesto *rialzato*. Gli antichi

coprivano con volte semplici a calotta i loro tempii, e gli altri edifici di pianta circolare. Tal è in tutta la pristina sua integrità la volta del Panteon (fig. 246); e tali erano pur quelle del supposto tempio della Dea di Preneste fuori di porta Maggiore (1) dei tempii di Vesta in Roma (fig. 247), ed in Tivoli, e d'altri antichi edifici smantellati dall'inginrie de' tempi e della barbarie. Anche i moderni hanno talvolta usato di simili calotte ne' tempii rotondi, fra i quali citeremo quello fabbricato dal Palladio a Maser non lungi da Treviso, di cui offriamo un picciolo disegno nella fig. 248, e quello architettato da Bramante sulla vetta del Gianicolo presso la chiesa di s. Pietro detta in Montorio. Ma più comnnemente si è fatto, e si fa uso di mezze calotte per ricoprire le nicchie, come pure gli *apsidi* o tribnne emicicliche, che terminano semicircolarmente la maggior parte de' nostri tempii dietro l'altare principale, o sia dalla parte posteriore; a somiglianza delle *calcidiche*, che sporgevano dall'estremità dell'antiche basiliche (2).

2. Volte *anulari*, le quali si adattano a ricoprire qnegli edifici, che hanno la pianta a forma di zona circolare; come si può vedere nella fig. 249. L'intradosso di qneste volte è una superficie curva generata dalla rivoluzione d'un arco di circolo, d'ellisse, o d'altra curva, costituente il sesto della volta, intorno alla verticale condotta pel centro della zona circolare; essendo condizione essenziale che l'arco generatore si congiunga all'imposta, e giaccia sempre in un piano, che passi per la detta verticale. Anche qneste volte possono essere di tutto sesto, o di sesto scemo, ovvero di sesto rialzato.

3. Volte *elicoidiche* o *spirali*, le quali costituiscono le rampe o montate dalle scale a chiocciola a base circolare; conforme se ne vede un esempio nella fig. 250.

§. 650. Anche agli edifici di pianta ellittica si adattano tre specie di volte semplici, analoghe a quelle testè ennmerate, cioè 1°. volte a calotta ellissoidica; 2°. anulari sopra una base a forma di zona ellittica; 3.° elicoidiche, aventi per base un'ellisse. Sarà pensiero degli studiosi d'investigare la genesi, le varietà, e gli usi di qneste specie di volte.

§. 651. Additeremo adesso alcune specie di volte semplici di pianta irregolare.

1.° Volte *a botte in isbieco*, o sia sopra una base romboidea (fig. 251). Accade di farne uso nell'arcate, di qualche ponte, quando le

---

(1) Nibby - *Viaggio antiquario ne' contorni di Roma* - Cap. XV.
(2) Vitruvius - Lib. V cap. I.

circostanza obbligano a situarlo in modo, che tagli il fiume in direzione obliqua a quella dell'alveo. Abbiamo un esempio di queste volte a botte in isbieco nel così detto arco de'Pantani, aperto negli avanzi del gran muro esteriore dell'antico foro Transitorio.

2°. Volte coniche sopra una base triangolare o trapezia. La fig. 252 mostra una di queste volte, insistente ad una base triangolare, ovvero trapezia isoscele; nel qual caso la superficie della volta è la metà, ovvero un segmento minore della metà della superficie d'un cono retto. Quando la base sia un triangolo scaleno, ovvero un trapezio scaleno, la superficie dell'intradosso della volta ad essa insistente sarà parte essa pure della superficie d'un cono scaleno.

3.° Più generalmente una volta di pianta trapezia può avere per intradosso una superficie gobba, generata dal movimento d'una retta, che si appoggia costantemente a due date linee curve, giacenti in due piani verticali condotti pei due lati opposti del trapezio; e ad una linea retta orizzontale giacente nel piano verticale, che taglia per metà quei medesimi due lati della base trapezia. Alle volte di questa specie i francesi danno il nome di *voussures*. Non possiamo chiamarle volte ed archi a *schiancio*, atteso che sono particolarmente adattate a coprire que'vani di porte o di finestre, che hanno gli stipiti voltati in ischiancio, o come volgarmente dicesi a *sguincio*; comunque diverse sieno le curvature dell'arco apparente nella fronte esteriore, e di quello che comparisce nella fronte interna del muro; come vedesi nella fig. 253. Egli è chiaro che affinchè l'imposte $MN$, $M'N'$ sieno due linee rette, è necessario che l'orizzontale, la quale dirige il movimento della linea generatrice, passi per quel punto $O$, in cui le due rette condotte pei punti $M$, $N$, e $M'$, $N'$, concorrono sul piano verticale $QQ$, che taglia per mezzo il vano.

§. 652. Venghiamo alle volte composte, e consideriamo primieramente quelle, che convengono ad una pianta quadrata.

1.° Volte a *botte semiovale*, la quale ha per intradosso la superficie curva, generata dal movimento d'una retta, che si mantiene costantemente orizzontale, e percorre una semiovale a tre o più centri, tracciata in un piano verticale, e normale all'imposte, alle quali essa si congiunge. Egli è chiaro che cotesta superficie curva non è continua, ma bensì formata dai vari segmenti di superficie cilindriche, corrispondenti ai diversi archi circolari, che compongono la semiovale costituente il sesto della volta. I moderni adoperano frequentemente la curvatura semiovale per l'arcate de' ponti di sesto scemo, a fine d'evitare la spinta maggiore che esercitano contro i piedritti l'arcate ad arco di circolo minore di 180°, e le maggiori difficoltà di costruzione, che sarebbero

proprie d'un arcata di sesto ellittico. Ritorneremo su questo proposito a tempo opportuno.

2. Volte *a botte gotica*, o *di sesto acuto*, dette anche *a terzo punto*. Queste differiscono dalle volte semplici a botte (§. 646 n.° 1) per la natura della curva, che dirige il movimento della retta generatrice dell'intradosso, la quale nelle volte gotiche risulta dal concorso di due archi uguali di circolo, come apparisce nella fig. 254.

3. Volta *a crociera* (fig. 255) composta di quattro porzioni di due volte a botte uguali, delle quali le due porzioni *X*, *X'* appartengono alla botte appoggiata sui due muri opposti *B*, *B'*, e le due *Y*, *Y'* all'altra botte, eretta sui due muri *A*, *A'*. Le volte a crociera possono essere di tutto sesto, di sesto scemo, di sesto acuto, ed anche di sesto ellittico, e semiovale, corrispondentemente alla forma delle volte a botte componenti. Esse possono essere sostenute da quattro semplici piedritti, *a*, *a*, *a*, *a* (fig. 256) situati ne' quattro angoli della pianta, il che sussiste anche per le volte semplici a vela delle quali si è detto di sopra (§. 646 n.° 2).

4. Volta *a schifo* o sia a conca (fig. 257), la quale è formata anch'essa da quattro porzioni di volte a botte, delle quali le due *X*, *X'* fanno parte della botte appoggiata sui muri apposti *A*, *A'*, e le due altre *Y*, *Y'*, appartengono alla botte giacente sugli altri due muri opposti *B*, *B'*.

5. *Cupola composta*. Questa risulta dalla combinazione d'una volta a vela (§. 642) troncata con un piano orizzontale condotto pei vertici delle curve d'intersezione della vela coi piani verticali, che passano pei lati della base, e costituiscono le facce interne de' muri, e d'una calotta o cupola semplice, avente per base la sezione circolare fatta nella vela. Ma per lo più fra il tronco di vela e la calotta è interposta una parte cilindrica di qualche altezza, e che dicesi il *tamburo* della cupola, come si osserva in quella di s. Pietro in Vaticano, e nell'altre principali cupole di Roma. Le quattro porzioni del tronco di vela, che formano la parte bassa diconsi *timpani*, e più comunemente *angoli*, *peducci*, ovvero anche *pennacchi* della cupola. Di tal fatta è la cupola del tempio del Redentore esistente in Venezia, riputato una delle più insigni opere del Palladio, ed uno de' più bei monumenti suoi della moderna architettura (1) di cui esibiamo lo spaccato longitudinale e la pianta nelle fig. 258, 259.

§. 653. Varie specie di volte composte possono pure accomodarsi ad una pianta rettangolare.

(1) Borgnis. *Traité élémentaire de construction*. Lib. IV. cap. VIII.

1. La volta a botte semiovale, non diversa da quella che si adatta ad una base quadrata, se non che per la disuguaglianza della sua lunghezza dalla sua apertura o larghezza.

2. La volta gotica o di sesto acuto, che differisce da una volta dello stesso sesto gittata sopra una pianta quadrata, soltanto per quella discrepanza fra la lunghezza e la larghezza, che è propria del rettangolo base.

3. La volta a crociera conviene essa pure ad una pianta rettangolare. Le due botti componenti hanno essenzialmente una stessa saetta ma disuguali aperture.

4. La volta a schifo, composta di quattro porzioni di due botti, che si tagliano in croce, ed hanno anche in questo caso una medesima saetta, e disuguali larghezze.

5. La volta *lunulata* o *a lunette*, la quale non è altro che una volta a botte, interrotta da porzioni d'altre volte della stessa specie, di minor sesto, ed aventi i loro assi in tanti piani normali a quello della botte principale. La fig. 260 dimostra la forma d'una botte a lunette di pianta rettangolare. La denominazione di lunette si dà appunto a quelle porzioni di piccole botti, $a$, $a$, $a$, che interrompono la botte principale. Talvolta le lunette hanno i loro assi acclivi verso la sommità della botte principale che è appunto il caso espresso nella figura. E se quest'inclinazione sarà tale che la linea costituente la sommità della lunetta divenga tangente alla superficie della botte maestra, si avrà il vantaggio che l'intersezioni delle lunette con la botte principale saranno archi di circolo; mentre in caso diverso sono curve a doppia curvatura, disaggradevole all'occhio, e difficili ad ottenersi in effetto con una discreta precisione.

Possono esservi anche delle volte rampanti (§. 647) a lunette, quali sono quelle dei due portici rettilinei che pongono in comunicazione il peristilio della piazza col vestibolo del tempio di s. Pietro in Vaticano. Lunulate possono essere anche le volte anulari (§. 649 n°. 2). Le volte lunulate ammettono tutte quelle diversità di sesto, che son proprie delle volte a botte.

6. Si può concepire anche sopra una pianta rettangolare una cupola composta, intendendo o che una vela sferica troncata sia sormontata da un tamburo cilindrico, sovra cui s'innalzi una calotta qualunque di base circolare, ovvero che la vela troncata sia ellissoidea, e si erga su di essa un tamburo ellittico, coperto da una calotta ellissoidica.

7. Volta a tetto o *a capanna*, la quale è formata di lastre rettangolari ed uguali di pietra $m$, $n$ (fig. 261), insistenti sopra due lati opposti

del rettangolo, e concorrenti in alto in una retta orizzontale, in guisa che l'intradosso della volta è costituito da due piani condotti per l'imposte, e concorrenti nella detta linea orizzontale. Questa specie di volta, che si applica anche ad una base quadrata, fu anticamente in uso presso gli egiziani. Essa non può essere senza molta spesa, e senza gravi difficoltà adoperata, se non che quando si tratta di coprire uno spazio di poca larghezza: ed i romani di fatti non se ne prevalsero se non che talvolta per copertura di cloache, di larghezza non maggiore di m. 0,80, come quelle che sono state scoperte negli scavi intorno e dentro l'anfiteatro Flavio. La capanna di tali cloache, era formata di grandi mattoni, o piuttosto lastre laterizie.

§. 654. Per gli edifizi di pianta poligona regolare accenneremo tre maniere diverse di volte composte.

1. Volta poligona *a spicchi rientranti*. Questa ha l'intradosso costituito da tante porzioni di volta a botte, quanti sono i lati del poligono. Così sulla pianta ottagona rappresentata nella fig. 262 saranno sei spicchi, ed i due $x, x'$ faranno parte della botte impostata sui lati $a, a'$, i due altri $y, y'$ apparterranno alla botte insistente ai due lati $b, b'$, i due $z, z'$ a quella che sorge sui due muri $c, c'$, e finalmente i due spicchi $v, v'$ saranno porzione della botte eretta sugli altri due muri $d, d'$. Ben si comprende che possono competere a questa volta poligona tutti quei vari sesti, che abbiamo veduto poter occorrere nelle volte a botte semplici e composte. Di questa forma è la volta del supposto tempio di Minerva medica di pianta decagona, di cui si ammirano gli avanzi in Roma presso la porta Maggiore. La cupola del tempio di s. Maria del fiore a Firenze, opera famosa del Brunelleschi, altro non è essa pure che una volta ottagona a spicchi rientranti, la di cui base ha m. 42,22 di diametro.

2. Volta poligona *lunulata*, o sia *a spicchi salienti*. L'intradosso di questa volta (fig. 263) risulta da tante lunette cilindriche, quanti sono i lati della figura base, avendo ciascun cilindro il suo asse orizzontale; ovvero acclive, come appunto nella figura, verso l'asse verticale dell'edifizio, e normale ad uno dei lati della base nel piano dell'imposte, e nel punto di mezzo del lato stesso. Sarà ben fatto che il cilindro in vece d'essere retto, nel qual caso supponendo il suo asse inclinato all'orizzontale, la sua intersezione col piano della parete sarebbe un arco elittico, sia di sua natura obbliquo talmente, che la detta intersezione succeda in un arco di circolo.

3. Può ottenersi sopra una pianta poligona una cupola analoga a quella, che abbiam veduto potersi costruire sopra una base quadrata (§. 652 n.°5), piantando sull'edificio poligono una vela sferica (§. 648) orizzontalmente

troncata, ed ergendo su questa una calotta o immediatamente, ovvero mediante l'interposizione d'un tamburo. Ma ordinariamente la vela sferica non è troncata da tutti i piani delle pareti sorgenti sui lati della base, ma bensì alternativamente dall'uno sì e dall'altro no, e ciò segnatamente nel caso più comune che la pianta sia un ottagono; in modo che ciascun timpano d'essa vela termina inferiormente all'imposta in quell'arco del circolo base della vela stessa, cui insiste il corrispondente lato della pianta. Tale è la forma della vela nella cupola rappresentata dalla fig. 264.

§. 655. Le volte composte accomodabili su d'una base circolare sono 1.° la calotta *ovalidica*, vale a dire generata dalla rivoluzione d'una semiovale a più centri intorno al proprio semiasse verticale, e 2.° la calotta *lunulata*, qualunque sia la natura della curva generatrice della calotta.

Nei piccoli edifici circolari può formarsi una volta in pietre di taglio, avente l'intradosso composto d'una serie di piani orizzontali, e di superficie cilindriche verticali ad essi alternate, con quella disposizione, facile a comprendersi, che si dimostra nella fig. 265. Se n'è avuto esempio in alcuni antichi monumenti sepolcrali. Egli è chiaro che con una disposizione somigliante si potrebbero costruire de' piccoli archi, e delle piccole volte, anche di pianta diversa dalla circolare.

§. 656. Parimenti sopra una base ellittica può adattarsi una calotta ellissoidica lunulata: come pure sopra un edificio di pianta ovale può collocarsi 1.° una calotta ovalidica, generata dalla rivoluzione dell'ovale base intorno ad uno de' propri assi orizzontali, e 2.° una calotta parimente ovalidica, e lunulata.

§. 657. Sopra una pianta di base trapezia, come quella degli schianci, o strombature d'alcune porte e d'alcune finestre, suolsi, particolarmente in Francia, costruire una volta composta di tre brani di superficie gobbe, e generate come già si disse altra volta (§. 651 n.° 3); le quante volte debba soddisfarsi alla condizione che l'intersezioni dell'intradosso della volta coi piani degli stipiti verticali a schiancio siano due archi circolari $a, a$ (fig. 266), aventi lo stesso raggio dell'arco di circolo, in cui si suppone dover terminare l'estremità più stretta della volta. Le curve direttrici in tal caso sono rispettivamente, per la superficie gobba intermedia i due archi frontali $ccc$, $ooo$, e per ciascuno dei bracci laterali il corrispondente arco circolare $a$, descritto sulla parete dello stipite, e l'arco frontale più ampio $eee$. A tali volte composte i francesi danno il nome di *voussures* di Marsiglia quando l'arco più ampio $eee$ è circolare; e le chiamano *voussures* di Montpellier allorchè codest'arco è una linea retta. È ben chiaro che in ogni caso è essenziale, atteso

l'accennata condizione, che l'imposta dell'arco *eee*, ed il vertice dell'arco *ooo*, sieno in una medesima orizzontale. Ed osserveremo di passaggio che la medesima condizione potrebbe pur rimanere adempita per mezzo d'una volta semplice, vale a dire costituita da una sola superficie gobba; sempre che si determinasse la posizione della linea retta, che insieme con le due curve *eee*, *ooo* è destinata a dirigere il movimento della retta generatrice, in guisa tale che l'intersezioni della generata superficie gobba coi piani degli stipiti fossero i divisati archi circolari.

§. 658. La materiale struttura delle volte può essere in pietra di taglio, in conci di pietrame, in mattoni, in vasi o tubi laterizi, e finalmente in muramento cementizio o di smalto (§. 561). Si possono costruire anche delle volte di canne intessute, e coperte semplicemente d'un intonaco di malta. In queste per altro non havvi che l'intonaco superficiale, che appartenga alla classe de'lavori murali; poichè tutto il resto consiste in opportune armature di legname, destinate a ritenere il cannaio, somiglianti a quelle che occorrono nella costruzione delle volte di legname, delle quali si fece menzione nell'antecedente libro (§. 308). Coteste volte, armate di legname e rivestite di canna, diconsi volte a soffitti a *camera canna*.

La struttura in pietra da taglio conviene a quelle volte, che sono soggette a sopportare gravi carichi, o a risentire violenti scosse, quali sono per es. l'arcate de ponti. Si addice in oltre singolarmente cotesta struttura alle volte in quella classe di monumenti, che sono destinati a perpetuar le memorie degli uomini sommi, e degli avvenimenti segnalati; nei quali edifici tutto deve corrispondere per eccellenza allo scopo d'una infallibile diuturnità, e portarne maestosamente impressi i caratteri. Così veggiamo dagli antichi essere stati sempre costrutti in pietra da taglio gli archi trionfali, le colonne dedicate alla memoria degl'imperatori con l'interne volte elicoidiche, le volte de'mausolei. Ma ove non abbiavi alcuno di tali motivi la struttura in pietrame e la laterizia meritano la preferenza, in grazia non solo della maggior facilità e della maggior economia di costruzione, ma ben anche della maggior leggerezza, per cui diminuisce non poco la spinta delle volte contro i laterali piedritti, e quindi più semplicemente o più sicuramente si adempiono le condizioni della stabilità. Che anzi la tenacità delle malte fa sì, che le volte costrutte in pietrame od in mattoni, quando il muramento ha fatto buona presa, agiscono sui piedritti come se fossero tutte d'un pezzo solo, vale a dire non esercitano su di essi che una pressione verticale; tanto che non può mai derivarne una spinta orizzontale, a meno che non avvenga che per qualsivoglia causa resti vinta la detta

tenacità della malta, e la volta venga a spezzarsi in vari punti, come appunto si suppone nella meccanica (1). Dicasi lo stesso delle volte costrutte con muramento di smalto o di bitume. L'esposte ragioni, e l'esempio di tanti classici monumenti antichi e moderni, nei quali immense volte di semplice struttura laterizia, o cementizia hanno sfidato e sfidano l'ingiurie de' secoli, mostrano quanto sia cieca la smania d'alcuni moderni costruttori, che tutte le grandi volte non vorrebbero in altro modo costrutte che in pietra da taglio. La volta a calotta sferica del Panteon d'Agrippa, che è la più gran volta che sia stata costrutta dagli antichi, ed ha di diametro nella base m. 43,25, è tutta di struttura semplicemente cementizia. D'uguale struttura erano le volte dei tempii della Pace, di Minerva medica, di Venere e Roma ec.; e quelle altresì dell'anfiteatro Flavio, delle terme, e di tanti altri edificî, che per molti secoli alzarono superbi la fronte, e di cui presentemente ammiriamo le imponenti ruine. La volta della nave principale del gran tempio Vaticano larga m. 27,50, non è altrimenti costrutta; e così ugualmente le volte degli altri moderni tempii di Roma. Nè vale il dubbio, che la struttura cementizia, la quale ha dato e dà tante prove di buona riuscita nel bel clima di Roma e dell'Italia, mal potesse reggere in altre contrade dominate da un'atmosfera umida, e da rigidi inverni; giacchè, conforme sagacemente osserva il Borgnis (2), i romani non ebbero scrupolo d'adoperarla nel clima meno favorevole della Francia e perfino nella caliginosa Inghilterra; e nulla di meno non mancano colà maravigliosi ruderi antichi, i quali fanno fede che anche in cotesti climi svantaggiosi può solidamente fabbricarsi con materiali minuti, senza una profusione inutile di pietre da taglio, purchè si vogliano imitare gli antichi negli accuratissimi loro metodi di costruzione.

§. 659. L'apparecchio dei cunei per la costruzione delle volte in pietra di taglio, secondo le forme e le dimensioni, che si richieggono per l'equilibrio e per la stabilità del sistema, è materia della sterotomia, ramo separato dalla scienza degl'ingegneri, che costituisce una delle più utili applicazioni della geometria descrittiva. A noi non si appartiene che di parlare dell'effettiva costruzione. Ma questa non consiste in altro che nel collocare ordinatamente i cunei ai posti individuali, per cui furono apparecchiati: e non richiede se non che la predisposizione delle necessarie centinature, accomodate al sesto della volta, ed ai conati cui debbono resistere, delle quali si parlò nel precedente libro (§. 414 e seg.);

(1) Venturoli - *Elementi di meccanica e d'idraulica* - Vol. I lib. IV cap. XI.
(2) *Traité élémentaire de construction* - Lib. II cap. II.

e l'esecuzione di quelle manovre che abbisognano per sollevare i cunei, e per situarli, delle quali si tratterà nel seguente libro. La giusta positura di ciascun cuneo è determinata dall'equazione della curva, che costituisce il sesto interno della volta; per mezzo della quale si trovano espresse in numeri le misure delle coordinate ortogonali ai lembi superiore ed inferiore delle facce, che debbono far parte dell'intradosso, riferite ad un asse orizzontale preso a piacimento, e legato ad invariabili capi-saldi. Il buon metodo è quello di calcolare in anticipazione i valori di tali coordinate per tutti i cunei, e di formarne una tavola da consultarsi di mano in mano all'occorrenza. I cunei si poggiano ad uno ad uno su i dossali, rialzandoli con sottoposte zeppe o cuscinelli di legno, più o meno grossi, quanto abbisogna, perchè vadano perfettamente a segno. L'operazione si regola col soccorso del filo, delle righe, e dell'archipendolo graduato. Quando una volta a botte non ha più di 12 o 15 metri d'apertura, si può costruire con più speditezza, ergendo ai suoi capi due sagome o garbi di legno profilati esattamente secondo il sesto che si vuol dare alla volta; dall'una all'altra delle quali tirando dei fili orizzontali, servono questi a determinare accuratamente le perfezioni de' cunei, senza verun bisogno di calcoli.

Sia con l'uno, sia con l'altro degl'indicati metodi i cunei si dispongono puntualmente in conformità del divisato sesto della volta, purchè sieno tagliati con la più scrupolosa esattezza. Ma siccome assai di raro avviene che i cunei sieno apparecchiati con tanta cura, così è forza di correggerne l'imperfezioni insinuando della malta e delle zeppe di legno nelle commessure, ad onta de' vizi propri di questa pratica, che furono già accennati in proposito della costruzione de' piedritti in pietre conce (§. 594). Le belle volte antiche in pietra di taglio furono tutte fabbricate senza malta, e senza zeppe; ma l'apparecchio de' cunei componenti era portato a tal punto di perfezione, e le facce di essi così bene spianate, che per lo squisito loro combaciamento, le linee delle commessure erano poi pressochè impercettibili nelle superficie dell'intradosso, e nelle fronti del muro. Usarono anche gli antichi l'artificio di connettere i cunei per mezzo di perni, ovvero di scambievoli incassature (§. 595). La fig. 267 dimostra due cunei connessi ad impernatura: nella fig. 268 si veggono due cunei aventi nei fianchi delle cavità emisferiche in corrispondenza l'una dell'altra, entro le quali s'inserivano dei ciottoli sferoidei, per cui i cunei erano l'uno all'altro di sostegno: finalmente nella fig. 269 si rappresenta il modo di connettere i cunei ad incassatura, sporgendo da un fianco di ciascuno un dente uniforme *d* destinato a penetrare in una corrispondente cavità del fianco del cuneo attiguo. A quest'ultima guisa sono incatenati fra loro i cunei di travertino nell'arcate

dell'anfiteatro Flavio; ove poi nell'arcate di maggior lunghezza i cunei giacenti allo stesso livello, o vogliam dire in uno stesso ordine, sono connessi vicendevolmente per mezzo d'impernature. Nelle costruzioni arabe i cunei delle volte avevano i fianchi dentati ed incavati a vicenda, onde le moltiplici incassature rendessero il sistema stabilmente unito, e venisse quindi anche a scemare la spinta contro i piedritti. Osserveremo però che per coteste scambievoli incassature rendesi più che mai necessaria la perfezione del taglio, affinchè le parti sporgenti collimino esattamente ai corrispondenti incavi; senza di che non potrebbe aversi nè la regolarità, nè la stabilità del sistema.

§. 660. Per la buona riuscita delle grandi volte in pietrame, ovvero laterizie, importa d'osservare nell'effettiva costruzione di esse alcune particolari cautele, che qui accenneremo, come ci vengono dettate dal Borgnis(1) 1°. Dal pietrame sia diligentemente separato il cappellaccio (§. 512), ed i pezzi sieno conciati con la martellina in modo che acquistino una forma grossolanamente regolare, e che le facce divengano discretamente appianate. 2°. I mattoni ed il pietrame si bagnino prima di metterli in opera (§. 600). 3°. Importa di non esser avari di malta, e di far sì che questa avviluppi ben da ogni parte le pietre ed i mattoni. 4°. Si batta ciascun pezzo in opera con la martellina, affinchè si unisca quanto più è possibile agli altri. 5°. All'estradosso s'inseriscano delle scaglie di pietra fralle commessure, acciocchè di mano in mano i vari ordini di filari di mattoni o di conci si dispongano normalmente al sesto della volta. 6°. S'immorsino gli uni con gli altri i vari filari, affinchè il sistema divenga unito. Nelle volte laterizie antiche, le quali ordinariamente erano composte di due giri di mattoni sovrapposti, si osserva che di tanto in tanto questi due giri erano collegati da mattoni di doppia lunghezza degli altri, e che perciò si estendevano a tutta la grossezza della volta. 7°. La *chiave*, cioè l'ultima pietra nel vertice della volta, vuol essere collocata senza forzarla smoderatamente. Insegnano alcuni costruttori, che nelle volte di mattoni, quelli che sono prossimi alla chiave si mettano a secco, cioè senza malta. A ogni modo convien guardarsi di batter la chiave a colpi di mazza, o di forzarla soverchiamente con zeppe, come praticano talvolta i muratori, affinchè il violente sforzo non abbia ad agitare la volta, ed a produrre qualche alterazione nei muri ancor freschi.

§. 661. Le piccole volte negl'interni appartamenti possono esser costrutte di mattoni in due maniere diverse. 1°. Con un giro di mattoni

(1) Nel luogo citato.

messi in taglio ossia in costa come vedesi nella fig. 270. Degli archi costrutti a questa foggia possono adattarsi a servire in vece d'incavallature per sostegno de' coperti, come per l'appunto si dimostra nel tipo. 2°. Con uno o due giri di mattoni in piano, conforme si osserva nella fig. 271. Questo secondo modo di struttura esige che si faccia uso di gesso, ovvero di una buona malta di calcina idraulica, capace di far prontissima presa (§. 537). Anzi una buona malta di calcina idraulica merita d'essere anteposta al gesso; atteso che questo oltre all'esser soggetto a deteriorare per l'umido ha, come già si disse (§. 528), la proprietà di gonfiarsi quando si asciuga, il che può esser cagione di dannose mosse nei muri, a meno che non si premuniscano questi contro tali sconcerti per mezzo d'opportune allacciature di ferro. Le volte di mattoni in piano sono comunemente conosciute sotto il nome di volte *alla volterrana*. In Roma si costruiscono con quella specie di mattoni, che hanno la denominazione di zoccoli, la quale fu registrata nel prospetto de' nostri materiali laterizi (pag. 33).

§. 662. Il vantaggio, che deriva dalla leggerezza del materiale impiegato nella costruzione delle volte (§. 658), ha dato motivo all'uso dei mattoni che a bella posta si fabbricano e si adoperano, come già dicemmo (§. 522), a Tolone nella Francia; e de' vasi o tubi di terra cotta, dei quali si ha esempio in alcuni monumenti antichi, e del medio evo. Veggonsi dei vasi figulini capovolti entro le masse delle volte negli avanzi del circo di Caracalla, in quelli d'un tempio di pianta ottagona esistente presso la via Prenestina, e nelle ruine d'un altro edificio antico prossimo alla via Appia. La cupola ottagona della chiesa di s. Vitale in Ravenna, bizzarro edificiò eretto nel sesto secolo, è costrutta di vasi e di tubi di terra cotta. I suoi fianchi, fino a due quinti della totale altezza sono composti di vasi dritti, della forma che vedesi rappresentata nella fig. 272, tutti murati in malta. Il resto della cupola è formato, di tubi, come quello che si osserva nella fig. 273, sdraiati in giro in forma di spirale, infilati l'uno nell'altro; a tre ordini nella parte di sotto, e a due soli ordini nella parte di sopra, murati anche questi in malta. Tutta la disposizione di questa singolare struttura vedesi indicata nella fig. 274. Anche presentemente nella Palestina si costruiscono delle volte leggere di tubi figulini, come raccogliesi da un passo dei Viaggi di Volney, riportato letteralmente dal tante volte ricordato Borgnis (1).

(1) Nel luogo già citato.

§. 663. Le volte cementizie, ossia di smalto, usitatissime presso gli antichi, si costruiscono come di getto sopra un tavolato disposto sulle centine a seconda della superficie dell'intradosso. Sul dorso di codesto tavolato, che costituisce la forma delle volte, si compongono in rilievo, con opportuni telai di legno, que' compartimenti, che non di rado si destinano all'interno abbellimento delle volte, affinchè tali compartimenti vengano abbozzati grossolanamente nella prima struttura della volta, per essere poi perfezionati dopo la rimozione della centinatura. Lo smalto si distende in massa sulla forma così apparecchiata, avendo cura di batterlo affinchè si addensi, e prenda maggior consistenza.

§. 664. Si fabbricano anche delle volte di struttura mista. Così talvolta nè ponti si fanno per maggior solidità, e per magnificenza, l'estremità, o sia le *teste* dell'arcate, in pietra di taglio; mentre il rimanente di esse per maggior economia si costruisce semplicemente in pietrame, ovvero in mattoni. Così pure veggiamo spesso nelle volte di gotica architettura esser costrutte in pietra di taglio le costole, che ne formano il carcame; mentre gli spazi interposti e completivi non sono che di struttura laterizia, ovvero in pietrame. Nelle volte di smalto è poi assolutamente essenziale di venir distribuendo, siccome costumarono gli antichi, a giusta distanza l'uno dall'altro degli archi in muramento di mattoni o di pietra, i quali facciano l'ufficio d'ossami, e servano di sostegno alle masse di più leggera struttura; procurando che le varie parti del sistema si uniscano saldamente fra loro per mezzo di continuate immorsature, talmente che ne risulti l'insieme quasi d'un sol masso indissolubile.

§. 665. Nel precedente libro fu avvertita la necessità delle centinature destinate a sostenere le volte durante la loro costruzione, e si tenne proposito de' sistemi più confacenti per la formazione delle centinature delle volte a botte (§. 414 e seg.). Ora che abbiamo particolarmente descritte l'altre varie specie di volte ci sarà facile il comprendere quali forme d'armature ad esse distintamente convengano; e basterà qualche semplice cenno generico relativamente ai casi più semplici e più ordinari, perchè gli studiosi possano dedurne le più minute particolarità, corrispondenti alle accidentalità dei casi meno ovvi e più complicati.

L'armamento delle volte a crociera, e delle volte a lunette, esige una struttura sostanzialmente uguale a quella d'una volta a botte, dovendosi adattare cotale armatura alla botte principale, che nelle volte lunulate è unica, e non può confondersi con alcun'altra, e nelle volte a crociera può ravvisarsi indistintamente nell'una o nell'altra delle due botti componenti. Fabbricata la centinatura della botte principale, conviene applicare sul dorso di questa le centinature delle lunette, o dell'altre due falde della crociera, disponendovi a traverso altrettante

porzioni di centinature di volte a botte adattate alle forme e alle dimensioni delle lunette, ovvero delle dette due falde traversali della crociera.

Le volte a botte rampanti, e le zoppe, e così pure le anulari, si armano con una disposizione analoga a quella delle botti ordinarie, con modificazioni adattate alle particolari forme di queste specie affini, conforme è facile di comprendere.

Per armare bene le volte a schifo si tirano prima due centine in croce pel vertice della volta ne'due piani verticali, che tagliano per metà i quattro lati della pianta; e quindi due altre centine allungate sulle diagonali della pianta stessa. Quindi, se fa d'uopo, con un numero sufficiente di costole, parallele rispettivamente all'una o all'altra delle due prime centine intere, si compie l'orditura del sistema, a cui vanno appoggiati i dossali, e quindi il manto (§. 417) corrispondentemente alla divisata superficie dell'intradosso della volta. Da tale struttura si può facilmente arguire quale sia quella che può convenire per l'armamento delle volte a spicchi rientranti sopra una base poligona (§. 654 n.° 1)

La centinatura d'una volta a vela è composta di due centine intere, messe sulle diagonali del quadrato o del rettangolo base; di quattro altre centine intere erette sui quattro lati della figura, ed accomodate alla curvatura degli archi, che costituiscono i lembi della volta lungo le pareti circostanti; e finalmente d'un numero sufficiente di costole, ognuna di esse giacente in un piano verticale condotto pel vertice della volta.

Finalmente per le calotte, e cupole semplici d'ogni sorta, l'armature sono formate da un numero sufficiente di costole o mezze centine, che partono dal vertice, e giungono al perimetro della base della calotta o cupola, giacendo ciascuna di esse in un piano verticale, che passa per la sommità della calotta.

§. 666. La flessibilità propria del legname, e quel ristringimento, di cui sono sempre suscettibili l'articolazioni dell'armatura, per quanto accurato se ne voglia supporre il lavoro (§. 421), rendono le grandi centine disposte ad incorrere progressivamente in vari cangiamenti di figura, di mano in mano che vien crescendo sui fianchi di esse il carico della volta. Nelle centinature delle piccole volte quest'effetto si rende insensibile o nullo, atteso che generalmente vi si adoperano membri assai più grossi, e più numerosi di quello che si richiederebbe pel poco carico che deve essere addossato al sistema: ma nelle grandi centinature è inevitabile; e tutta la cura dei costruttori dev'esser rivolta ad impedire le svantaggiose conseguenze, che potrebbero derivarne a danno della forma, ovvero della solidità della volta. Fu già avvertita (§. precit.) la necessità di far progredire di passo uguale la costruzione d'ambi i fianchi della volta, e di tener di mano in mano caricata di pesi provvisionali

la sommità della centinatura, in proporzione che il carico viene aumentandosi sui fianchi. Queste precauzioni tendono a far sì che il cedimento avvenga progressivamente uniforme nell'un fianco e nell'altro, senza che il sesto della centina cessi mai d'esser simmetrico intorno alla verticale, che passa per la di lei sommità; ed a togliere tutte quelle mosse che nascerebbero dalla disuguale distribuzione del carico, e che sarebbero seguite da altre contrarie, di mano in mano che il peso della volta si venisse estendendo su quelle parti, che prima non erano gravate. Così se sopra l'uno de' fianchi si facesse crescer la volta più presto che sull'altro, la centina piegherebbe verso la parte meno premuta; e si rimetterebbe poi, sebbene forse non perfettamente, al suo sesto, quando anche da questa parte la volta si trovasse poi avanzata come dall'altra. E se si trascurasse di sopraccaricare la centina nel vertice con pesi provvisionali, di mano in mano che si vengono costruendo i fianchi della volta, ne avverrebbe che da prima i fianchi della centina si stringerebbero, e se ne solleverebbe il vertice; e in fine gradatamente calerebbe di bel nuovo la sommità, e si allargherebbero i fianchi, quando la parte superiore venisse essa pure aggravata nell'avvicinarsi della volta al suo compimento.

§. 667. Affinchè la pressione della volta crescente sui fianchi dell'armatura non valesse ad indurre que' passeggieri effetti, che abbiamo per ultimo notati, cioè il chiudersi de' fianchi, e l'innalzarsi del vertice della centina, si adoperò un ingegnoso artificio, degno d'essere conosciuto, nell'organizzazione delle centinature per l'arcate dell'altre volte ricordato nuovo ponte sul Taro, ciascuna delle quali ha l'apertura di m. 24, e la freccia di m. 6,60. Nel vertice di ciascuna centina si collocò un monaco *ee* (fig. 275) pendente verticalmente fino a livello dell'imposte, ed all'estremità inferiore di questo si affidarono, mediante opportune indentature, due razze *m,m*, le quali sorgevano obliquamente dai due lati a puntellare i due fianchi del sistema. Egli è chiaro che per tale disposizione le pressioni, che immediatamente agivano sui fianchi della centina, mediante le razze *m,m*, spingevano a basso il monaco *ee*, e quindi lungi dal cooperare, si opponevano anzi al sollevamento della sommità dell'armatura. Nulla di meno a maggior sicurezza non si tralasciò dagli espertissimi direttori dell'opera di caricare di mano in mano la vetta del sistema di pesi temporanei, che secondo il consueto si vennero poi togliendo via a poco a poco, quando si era sul punto di chiudere ciascuna arcata (1).

(1) Cocconcelli. *Descrizione de' progetti e lavori per l'innalzamento dei due ponti sul Taro e sulla Trebbia* - pag. 40 e 157.

§. 668. Cade ora in acconcio d'investigare quali sieno i conati, che una volta, di mano in mano che vien crescendo, esercita sui fianchi dell'armatura (§. 425). Applicheremo la nostra ricerca alle volte formate di cunei di pietra di taglio; e le conseguenze che ne trarremo potranno poi con sicurezza estendersi anche alle volte di pietrame, alle laterizie, ed alle cementizie; poichè la tenacità delle malte, ch'è l'unico elemento di più, che sarebbe da porsi a calcolo per queste ultime specie di struttura, non potrebbe che diminuire il valor de'conati della volta contro le centine; onde il trascurare un tal elemento nella determinazione de'conati, ove si tratti di proporzionare a questi la resistenza delle centine, è a puro benefizio della stabilità dell'armatura.

§. 669. Supponghiamo una volta a botte (fig. 276), la quale sia avanzata soltanto fino all'apposizione del filare o corso di cunei $rhux$, che tutto si appoggia sul dossale $o$ (§. 417), insistente alle centine dell'armatura. Sia $P$ il peso di quest'ultimo filare di cunei nell'unità della lunghezza della volta, e sia $e$ l'obliquità del letto inferiore $rh$ alla verticale. Risolvendo il peso $P$ de'cunei in due forze, una perpendicolare, l'altra parallela al letto $rh$, sarà la prima $= P \operatorname{sen.} e$, la seconda $= P \cos. e$; e quindi, chiamando al solito $f$ il rapporto dell'attrito alla pressione, il conato $S$, esercitato dal filare di cunei $rhux$ contro l'unità di lunghezza del dossale $o$ sarà

$$S = P \cos. e - f P \operatorname{sen.} e = P(\cos. e - f \operatorname{sen.} e).$$

E sarà questo l'unico sforzo che proverà il dossale, finchè non si aggiunga qualche altro filare de'cunei superiori; giacchè i filari sottoposti si appoggiano rispettivamente sopra altri corrispondenti dossali, ed evidentemente non possono produrre verun conato sul dossale $o$.

Ora se intendiamo che al filare $rhux$ sia sovrapposto qualsivoglia numero d'altri filari di cunei, produrranno questi una pressione $Q$ normale al letto superiore $ux$ del filare soggiacente $rhux$; e se chiamiamo $e'$ l'inclinazione alla verticale di codesto letto superiore $ux$, e risolviamo la pressione $Q$ in due forze, una normale, e l'altra parallela al letto inferiore $rh$ de cunei $rhux$, si scoprirà che in virtù di cotale pressione questi cunei sono spinti da una forza $= Q \cos.(e - e')$ perpendicolare al letto, $rh$, e da un'altra forza $= - Q \operatorname{sen.}(e - e')$ parallela allo stesso letto, e quindi normale al dossale $o$. Oltre di che è facile di avvedersi che il cuneo $rhux$ è tirato all'ingiù, parallelamente al letto superiore $ux$, dall'attrito del cuneo sovrastante al letto medesimo, cioè da una forza $= fQ$; la quale si decompone in due, una $= fQ \operatorname{sen.}(e - e')$, perpendicolare al letto inferiore $rh$, l'altra $= fQ \cos.(e - e')$, parallela a quello stesso letto, e perciò direttamente

rivolta contro il dossale. Si deduce che, a qualunque punto si trovi avanzata la costruzione della volta per l'aggiunta di qualsivoglia numero di filari soprastanti al filare $rhux$, questo sarà sempre stimolato a discendere lungo il proprio letto inferiore dalle tre forze $P \cos. e, -Q \operatorname{sen.} (e-e')$, $fQ \cos. (e-e')$; mentre da un'altra parte sarà esso premuto contro il proprio letto inferiore delle tre forze $P \operatorname{sen.} e$, $Q \cos. (e-e')$, $fQ \operatorname{sen.} (e-e')$. Pertanto la forza, con cui il filare de' cunei $rhux$ tenderà a discendere lungo il letto $rh$; e vale quanto il dire la spinta $S$, ch'esso eserciterà contro il dossale $o$; sarà data in questi termini

$$S' = P \cos. e - Q \operatorname{sen.} (e-e') + f Q \cos. (e-e') -$$
$$f [P \operatorname{sen.} e + Q \cos. (e-e') + f Q \operatorname{sen.} (e-e')];$$

ovvero più semplicemente, fatte l'opportune riduzioni,

$$S' = P (\cos. e - f \operatorname{sen.} e) - Q (1+f^2) \operatorname{sen.} (e-e').$$

Se confrontiamo questo valore di $S'$ con quello di $S$ poc' anzi trovato, vedremo di colpo che il primo è sempre minore del secondo; onde veniamo a conoscere che il periodo della costruzione della volta, in cui qualsivoglia dossale $o$ prova la massima spinta, è quello in cui giace su di esso il corrispondente filare di cunei, non sopraccaricato di verun altro filare superiore; e che la massima spinta, ch'esso sente in tal caso sull'unità di misura è $S = P (\cos. e - f \operatorname{sen.} e)$. Laonde se si proporzionerà la resistenza dell'armatura, dipendentemente dalla disposizione, e dalla dimensione de' membri componenti, a questa massima spinta, calcolata per tutti i dossali sorreggenti i diversi filari di cunei, che compongono la volta, la stabilità dell'armatura sarà pienamente assicurata per qualunque epoca della costruzione della volta.

Si vede anche chiaramente che il valore della spinta $S$ diviene nullo, e negativo quando è tang. $e = \frac{1}{f}$, ovvero tang. $e > \frac{1}{f}$, e che per conseguenza niuna spinta esercitano contro l'armatura quei cunei, che hanno i letti inclinati alla verticale con un angolo uguale, o maggiore di quello che abbisogna, affinchè essi si mantengano in equilibrio sul piano inclinato in virtù del solo attrito; il qual angolo, poco più poco meno, suol essere di 50.° E quindi si ravvisa che pel sostentamento della volta inutile sarebbe l'armatura per tutti i primi filari di cunei prossimi all'imposte, nei quali si verifica che tang. $e > \frac{1}{f}$, fino a quel

filare in cui diviene tang. $e = \frac{1}{f}$. E solo da tale altezza in poi basterebbe di ergere le centinature delle volte, se altri riguardi di facilità o di sicurezza non rendessero per lo più conveniente di gittare le centine dal. l'una all'altra imposta.

§. 670. Le precedenti deduzioni serviranno di supplemento alla dottrina delle centinature delle volte, esposta nel precedente libro, ove furono indicate le tracce più opportune da seguirsi per ridurre ad esame la stabilità dell'armature, noti che sieno i conati che le volte esercitano contro di queste durante la costruzione (§. 425). Sono esse applicabili non solo alle volte semplici a botte, ma ben anche a tutte quelle volte, che risultano dalla combinazione di varie botti semplici di qualunque forma; e possono altresì estendersi con facilità alle volte anulari, ed a quelle che hanno per intradosso una o più superficie gobbe. Nelle volte a calotta, siccome ciascun filare rientrante di cunei, tosto che è chiuso, trovasi per se stesso, in equilibrio (1), è chiaro che ciascuna costola (§. 665.), a qualsivoglia epoca della costruzione della volta, ritenendo che non si cominci mai un nuovo filare se il sottoposto non è perfettamente chiuso, come regolarmente si pratica, non sentirà altra spinta che quella, che proviene dal cuneo dell'ultimo filare incominciato, la quale, come nel caso della volta a botte, sarà $= P(\cos. e - f \operatorname{sen} e)$. Converrà quindi esaminare a quale dei cunei, che debbono successivamente cadere sulla costola, corrisponda il massimo valore di cotesta spinta, e relativamente a questa massima spinta, supponendola applicata, per calcolare sul caso più contrario, alla metà dell'altezza di ciascuna costola, si dovrà istituire l'esame della stabilità dell'armature.

§. 671. Nella costruzione delle grandi volte avviene che per l'assestarsi dell'articolazioni delle centine, di mano in mano che l'armatura viene sopraccaricata, il sesto delle centine stesse si deprime alcun poco, più o meno secondo la qualità del legname, e secondo che l'articolazioni medesime sono state elaborate con minore, o maggiore accuratezza. Di più nel rimoversi l'armatura, dopo che la volta è compita, rimanendo questa abbandonata a se stessa, per la contrazione che succede nelle malte, gagliardamente compresse dal conato di tutte le parti della volta a discendere, questa necessariamente soggiace a qualche depressione, più o meno, a tenore della qualità delle malte, e della minore o maggiore

(1) Venturoli - Vol. I lib. IV cap. IX.

perfezione della struttura. In grazia di cotesti inevitabili effetti generalmente accade che le volte, e segnatamente le più vaste, e le più pesanti, quando dopo il loro disarmamento sono giunte ad assettarsi, prendono un sesto alquanto diverso, e più schiacciato di quello, a seconda del quale erano state costrutte le centine. Se dunque si vuole che la saetta, e l'arcuazione d' una volta, corrispondano dopo la consumazione de' motivati due effetti al sesto divisato nel progetto, sarà d'uopo di rialzar quello delle centine di tanto, quanto verisimilmente si potrà supporre il totale abbassamento, che accadrà nella volta; e questa è una regola costante presso i buoni costruttori. A prevedere con fondamento quanto potrà essere il calo d' una volta, desunto dalla differenza fra la saetta assegnata alla centina e quella della volta medesima dopo il compinto suo assettamento, non havvi altro espediente che quello di consultar l'esperienza, ricercando nelle memorie dell' arte quale sia stato il calo d' altre volte somiglianti a quella, che dà occasione alla ricerca, sotto il maggior numero possibile di riguardi. Le più volte citate opere di Perronet, di Regemortes, di de Cessart somministrano interessanti ragguagli su questo particolare. Al nuovo ponte sul Taro, che ha l' arcate costrutte di mattoni, apparecchiati a bella posta a foggia di cunei, si è avuta una chiara prova di fatto che le sagaci congetture d' intelligenti e sperimentati costruttori non vanno su questo punto lungi dal vero. Erasi presunto nel progetto di quella grand'opera che il calo completo di ciascuna arcata avesse ad essere di circa m. 0,30, e quindi eransi costrutte le centine con una saetta di m. 6,90, affinchè col supposto calo la saetta dell' arcate dovesse in fine riuscire della statuita lunghezza di m. 6,60 (§. 667). Il calo effettivo corrispose, per quanto in tali cose è sperabile, alla congettura, ed accadde fra i limiti di m. 0,30, e m. 0,16, in modo che niuna dell' arcate di quel ponte ha la saetta minore di m. 6,60; nè havvene alcuna che ecceda la detta misura più che di m. 0,16 (1). All' altro grandioso ponte di Boffalora, innalzato recentissimamente sul Ticino nella via da Torino a Milano, l' arcate in pietra di taglio, anch' esse dell' apertura di m. 24, con la freccia di m. 4, non son calate nel vertice, secondo le notizie che ne abbiamo (2), più che m. 0,05, come appunto era stato presagito dai costruttori; dal qual esempio si potrebbe trarre un argomento di fatto, che la solida, ed accurata struttura delle centine, e la perfezione del taglio e del collocamento delle pietre,

---

(1) V. la già citata descrizione del Cocconcelli a pag. 158.
(2) *Biblioteca italiana* - Febbraro 1828.

valgono se non ad esentare da qualunque calo le volte, almeno a render questo di ben poco momento. Non sarà discaro agli studiosi di trovar qui sotto raccolti in una breve tabella i risultati delle principali osservazioni, che sono state fatte nella studiata costruzione d'alcuni moderni rinomati ponti, intorno al calo cui le loro arcate soggiacquero tanto nell'atto dell' edificazione delle volte, quanto posteriormente alla rimozione delle centinature. Si vedrà che la minima depressione si è avuta al testè menzionato ponte di Boffalora; e che di vari ponti costrutti nella Francia quello ove il calo dell' arcate è stato minore che negli altri, è quello di Jena, nel quale solo, a differenza degli altri, si fece uso di armature a sostegni verticali (§. 424) sorgenti da una platea stabilita sul fondo del fiume (1). I ponti, di cui si fa menzione, hanno tutti l'arcate costrutte in pietra di taglio, meno quello del Taro, nel quale, come già si disse, furono formate di cunei laterizi appositamente fabbricati.

## TABELLA

*Delle depressioni accadute nell' arcate d' alcuni moderni ponti, tanto nell' atto della costruzione, quanto posteriormente alla rimozione dell' armature.*

| numerazione | elenco de' ponti tenuti in osservazione | figura e dimensioni dell' arcata | | | calo avvenuto | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | sesto | apertura | saetta | sull' armatura | dopo il disarmamento | totale |
| | | | m. | m. | m. | m. | m. |
| 1 | Ponte di Nogent sulla Senna in Francia. | ovale . . | 29,240 | 8,770 | 0,074 | 0,372 | 0,446 |
| 2 | Ponte di Mantes anch' esso sulla Senna. | ovale . . | 39,— | 11,370 | 0,325 | 0,232 | 0,557 |
| 3 | Ponte di Neuilly sullo stesso fiume . | ovale . . | 39,— | 9,750 | 0,365 | 0,295 | 0,660 |
| 4 | Ponte di Nemours sul fiume Loing . | arco circolare | 16,240 | 1,110 | —— | —— | 0,203 |
| 5 | Ponte di Jena sulla Senna . . . | arco circolare | 28,— | 3,400 | 0,085 | 0,035 | 0,120 |
| 6 | Ponte sul Taro in Italia . . . . | ovale . . | 24,— | 6,600 | —— | —— | 0,300 |
| 7 | Ponte di Boffalora sul Ticino. . . | ovale . . | 24,— | 4,— | —— | —— | 0,050 |

(3) Gauthey - *Traité de la construction des ponts* - Lib. IV cap. IV nota del Navier.

§. 672. Un fenomeno dipendente dal calo, che succede nelle volte dopo il loro disarmamento, si è che le commessure delle pietre cuneiformi poste nei fianchi, in un certo tratto intermedio fra l'imposte e la chiave, ossia nelle adiacenze de' punti di rottura (1), tendono ad allargarsi sull' estradosso, ed a ristringersi sull'intradosso; e che viceversa tendono, però alquanto meno, a stringersi all' estradosso, e ad aprirsi all' intradosso, le commessure di que' cunei che sono prossimi alla chiave. A fine di schivare cotesta deformità si suggerisce che nella costruzione delle volte in pietra di taglio, collocando di mano in mano i cunei, debbasi aver l'avvertenza di far sì, che le commessure verso il punto di rottura riescano più larghe all' intradosso che all' estradosso; e che all'opposto presso la chiave sieno più larghe all' estradosso che all' intradosso. Con tale precauzione si ottiene che il motivato effetto del calo della volta, dopo la rimozione delle centinc. non fa che correggere l' ineguaglianza delle commessure, procurata a bella posta nella costruzione, e che le commessure stesse diventano nell' assettamento della volta, se non perfettamente, almeno discretamente uniformi; come appunto accadde al ponte di Nemours in Francia, nella costruzione del quale fu messo in uso l' accennato giudizioso artifizio. Qualora però l' apparecchio de' cunei fosse eseguito a perfezione, e l' armature fossero con tale solidità ed accuratezza costrutte, che niun sensibile cedimento potesse temersi in esse, cesserebbe la possibilità di qualunque abbassamento della volta, e quindi anche il bisogno del surriferito espediente. E qui non lasceremo di avvertire che, ove si tratti di costruire una volta di cunei tagliati con la più scrupolosa esattezza, si rende sommamente importante che l' armatura sia della massima saldezza ed invariabilità, atteso che, per la supposta perfezione sterotomica de' cunei, non potrebbero questi secondare le mosse d' una centinatura cedevole, senza dar luogo a gravi, e spesso irreparabili inconvenienti. In simili casi l' armature più opportune son quelle, che vengono rette da sostegni o candele verticali, sorgenti da terra fra l' una e l' altra imposta (§. 424.). E di così fatte armature convien credere si servissero gli antichi nella costruzione di tante magnifiche volte in pietra di taglio; nelle quali son da ammirarsi del pari la perfezione del taglio de' cunei, e la squisitezza della loro composizione in opera. Le centinature a sostegni verticali, mercè la loro costituzione, non sono suscettibili di sollevarsi nella sommità, come l' armature semplicemente appoggiate sull' imposte, di mano in mano che vengono caricate sui fianchi (§. 566.). Quindi non sussiste per esse l' accennato motivo di

(1) Venturoli - Vol. I lib. IV cap.

aggravarle nella cima di pesi provvisionali, in proporzione che cresce o che diminuisce la pressione sui lati, mentre progredisce la costruzione della volta. Nulladimeno l'anticipata compressione della sommità di tali armature, prodotta da un carico provvisionale, sarà sempre utile, poichè farà sì che le centine, premute contemporaneamente in ogni parte, si ridurranno ben presto a quello stato d'assettamento, a cui lentamente a poco a poco sarebbero giunte per la sola pressione ognor crescente sui fianchi; onde resterà così meglio assicurata la regolarità del collocamento de'cunei. Fu per questo che al ponte di Jena non si omise la precauzione de'carichi avventizi sulle cime dell'armature, quantunque fossero queste a sostegni verticali, come già dicemmo; e fu pure savio consiglio al ponte sul Taro di procedere con la stessa cautela, ad onta del particolare artifizio delle centine, per cui la compressione dei fianchi era invalida a farne risalire la sommità (§. 667.).

§. 673. L'imperfezione del taglio de'cunei si corregge nella costruzione delle volte con l'uso della malta nelle commessure. Ma siccome la malta non può sostenersi quando l'inclinazione del piano delle commessure, vale a dire dei letti, oltrepassa un certo limite, così oltre una certa altezza è forza di ricorrere all'artifizio delle zeppe inserite fra i cunei, a modo che ciascuno di essi si adagi in quella posizione, che regolarmente gli compete: malgrado i vizi di questo metodo (§. 594), i quali più che mai son da temersi nelle volte, in grazia delle gagliarde pressioni cui i cunei si trovano esposti. Intanto naturalmente accade che le malte nelle commessure si vengono di mano in mano costipando, nell'asciugarsi sotto la pressione delle parti soprastanti; e così pure le zeppe strette fra i cunei si contraggono nelle commessure discoste dalla chiave. Ma in vicinanza di questa, prima che la volta sia chiusa, essendo nulla o tenue la pressione, che i cunei esercitano gli uni contro gli altri, le zeppe e le malte non sono forzate a contrarsi; e le seconde trovandosi più fresche in queste commessure prossime alla chiave, che nelle inferiori, ne segue che quando si toglie l'armatura, e la volta rimane abbandonata a se stessa, la causa principale del calo, cui la volta stessa soccombe, consiste nella compressibilità delle malte e delle zeppe interposte a quei cunei, che sono prossimi al vertice. Ad allontanar questa causa, o almeno a diminuirne gli effetti, importa di procurare che i cunei si stringano quanto mai è possibile alla chiave, prima che si disarmi la volta. A tal effetto si è talor praticato di cacciare a forza delle biette, o grosse zeppe di legno, fra un cuneo e l'altro, formate a bella posta ne'fianchi di essi opportune incassature, lateralmente alle quali si accomodavano delle strisce di legno insaponate, acciocchè le biette entrassero con più facilità, battendole a colpi di maglio. Si è per altro riconosciuto che

cotesto metodo violento può cagionare la rottura di qualche pietra, e se non altro tende a spostare i cunei, e a produrre delle disgiunzioni e delle irregolarità nella struttura. Nell'arcate del ponte di Neuilly si prese il semplice espediente d'inserire ne'congiugnimenti de'cunei delle schegge di pietra dura. Ma a giudizio de' moderni costruttori il partito più opportuno si è quello di colmare le commessure presso la chiave con qualche materia dotata della facoltà di dilatarsi quando si ascinga. Tale sarebbe il miscuglio d'una malta ordinaria di calcina e di mattone polverizzato, con una discreta quantità di calcina viva in polvere. E così pure qualunque malta ordinaria, a cui si mescoli una giusta quantità di limatura di ferro, acquista non mediocremente la proprietà di gonfiarsi allorchè si secca, e si assolida (1).

§. 674. Dalle varie mosse che hanno luogo nelle volte in pietra di taglio sia durante la costruzione, sia dopo la rimozione delle centine (§. 672), ne deriva che la scambievole pressione de'cunei si fa sentir più che altrove lungo il lembo superiore o inferiore delle loro facce poste a contatto, e che ivi perciò è più imminente il pericolo che le pietre screpolino e si scaglino. Giova perciò l'avvertenza di situare le zeppe a qualche distanza dal ciglio superiore e dall'inferiore de'cunei, e di tagliar questi cigli leggermente a schiancio, onde impedir che si tocchino. Se talvolta dopo il disarmamento della volta si vedesse che la malta delle commessure fra i cigli de'cunei fosse smoderatamente costipata, converrebbe sgretolarla e toglierla alla profondità di qualche centimetro, affinchè l'eccessivo sforzo non producesse qualche sconcio nei lembi della pietra; e le congiunzioni vuotate non si dovrebbero poi stuccare con nuova malta, finchè la volta non avesse fatto tutto il suo calo.

§. 675. Le volte, in pietra di taglio, ove l'apparecchio accurato dei cunei escluda l'uso della malta e delle zeppe, possono disarmarsi senza alcun rischio, appena che è stata posta la chiave. Ma quando vi s'impiega la malta nelle commessure, è utile di dar tempo a quella d'assodarsi prima che sia tolta l'armatura, onde la depressione della volta sia minore dopo il disarmamento. Egli è vero che con l'asciugarsi delle malte perdono queste l'attitudine di ricongiungersi alla pietra in quelle commessure, che o sotto o sopra si erano allargate nel calar progressivo della volta pel cedimento delle centine, e che si ristringono poscia quando la volta abbandonata a se medesima prende il finale suo assetto. Ma vi si può rimediare versando della malta alquanto liquida nelle

(1) Gauthey - *Construction des ponts* - Lib. IV cap. IV.

commessure, che veggonsi allargate, pochi istanti prima che s'incominci a rimovere l'armatura. Ad ogni modo si giudica necessario il lasso di almeno quindici giorni dopo il collocamento della chiave, perchè le volte in pietra di taglio possan essere disarmate, senza che la troppa freschezza delle malte dia luogo ad un calo strabocchevole. Nelle volte di pietrame, e di mattoni, e nelle cementizie, ove la malta s'impiega in copia, il disarmamento è d'uopo che sia più lungamente ritardato, che nelle volte di pietra. In tali specie di volte due mesi di tempo possono bastare nelle stagioni propizie ad asciugare ed assolidare le malte, a modo da poter procedere con sicurezza al disfacimento dell'armature. Tuttavia nè per le volte in pietra di taglio, nè per l'altre, non può assegnarsi un'epoca costante, a cui debbano disarmarsi; e conviene che gli accorti costruttori sappiano cogliere il momento opportuno a norma delle circostanze: poichè le diversità de' materiali, ed il vario tenore delle stagioni, rendono non mediocremente vario il periodo necessario alle malte per prendere la debita consistenza.

§. 676. Il disarmamento effettivo delle piccole volte, e delle volte di leggera struttura non presenta difficoltà e non esige particolari avvertenze. Le grandi e pesanti volte richiedono molta circospezione quando vengono disarmate, affinchè quel calo, cui più o meno vanno soggette al rimuoversi dei sostegni, accada senza che si turbi la regolarità della forma e della struttura. Il metodo che i moderni costruttori hanno riconosciuto il più opportuno è il seguente. Si comincia dal levare i dossali uno per parte dall'imposte, e tolto il primo si leva il secondo, e poi il terzo, e così successivamente, ed ugualmente dall'una e dall'altra parte, progredendo verso la chiave. I primi dossali si estraggono agevolmente, atteso che sopra di essi poca o nulla è l'azione della volta (§. 669). Ma progredendo all'insù trovasi di mano in mano maggiore difficoltà per la gagliarda pressione de' cunei sull'armatura, ed i dossali non potrebbero levarsi, se non si distruggessero a poco a poco con lo scalpello quelle biette o cuscinetti di legno, che servono come si disse (§. 654) a tener i cunei sollevati sui dossali quanto si richiede, affinchè la posizione di quelli corrisponda perfettamente al sesto della volta. Ma ciò non basta quando si giunge in prossimità della chiave, poichè ivi di mano in mano che si vengono togliendo i cuscinetti fra i dossali ed i cunei, questi assettandosi tendono ad appoggiarsi a quelli, e li premono a modo d'impedirne l'estrazione. Si evita cotesta difficoltà coll'inserire, presso i dossali prossimi alla chiave, fra le centine, e la volta, degli sbadacchi appuntati nell'estremità inferiore, i quali sorreggendo i cunei impediscono che vadano ad aggravare i dossali quando sono rimossi i cuscinetti. Levati così senza difficoltà gli ultimi dossali, la volta non rimane appoggiata

se non che ai detti sbadacchi. Allora non resta che di levar questi, e ciò si eseguisce consumandone ed indebolendone la punta a poco a poco con lo scalpello, così che restino schiacciati sotto la compressione della volta, e continuando ad affinarli e farli schiacciare, finchè la volta perfettamente assettata cessi di premerli; ed allora si scansano con somma facilità. Quindi si vede come le centine, esonerate affatto dal carico della volta, si potranno agevolmente demolire.

La buona riuscita di cotesta operazione esige lentezza e cautela; e convien sopra tutto guardarsi d'agitare l'armatura con violente scosse, che potrebbero indurre qualche movimento troppo rapido, e contrario alla regolarità dell'assettamento della volta.

§. 677. In conformità del nostro assunto (§. 644), dobbiamo ora parlare per ultimo della stabilità delle volte. Non ripeteremo a questo proposito quelle teorie, che sono state diffusamente svolte nel corso di meccanica; le quali risguardano invero l'equilibrio delle volte, ma fissano perciò appunto il confine, direm così, al qual cessa la stabilità del sistema. Fondandoci bensì sulle condizioni dell'equilibrio, forniteci dalle teorie meccaniche, imprenderemo a mostrare come debba valersene l'arte nelle pratiche occorrenze, sia per esaminare se una data volta sia costituita a modo, che non abbia a temersi che ne vacilli la stabilità, sia per determinare la grossezza da assegnarsi al piedritto d'una volta, affinchè la stabilità ne resti pienamente assicurata. Ci fermeremo a considerare semplicemente il caso che abbraccia le volte cilindriche, o sia a botte di qualsivoglia sesto semplici e composte, le quali sono le più usitate sui vasi di maggiore ampiezza. Le volte d'altra forma se sono di piccola estensione, come il più delle volte accade, si trovano d'ordinario talmente costituite, nelle circostanze in cui l'architettura suol farne uso, che non può rimanere alcun dubbio sulla loro stabilità: e se poi sono di più che ordinaria ampiezza, possono sempre o in un modo o in un altro con opportune considerazioni ridursi al caso d'una volta a botte, onde metterne così ad esame la fermezza: di che lascieremo l'indagine agli studiosi. Considereremo da prima il caso d'una volta a botte costrutta in pietra di taglio, con cunei di squisito apparecchio, senza interponimento di malta. Susseguentemente ci faremo ad esaminare il caso più comune delle volte murate in malta.

§. 678. Per quelle volte a botte le quali sono formate di cunei senza verun impiego di malta valgono quelle condizioni, che furono dedotte nella meccanica per l'equilibrio degli archi di grossezza finita, posta a calcolo la resistenza dell'attrito (1). Da tali condizioni nascono tutte le

(1) Venturoli - Vol. I lib IV cap. X.

leggi relative alla forma e alle dimensioni dell' apparecchio de' cunei; sulle quali non ci tratterremo essendo esse materia appartenente alla sterotomia. A noi basta di ricordare che le volte di cotesta struttura esercitano contro i pulvinari una spinta orizzontale $= R$ cot. $E$, ed una pressione verticale $= R$, ove $E$ sia la declinazione del pulvinare dalla verticale, ed $R$ esprima la metà del peso della volta sull' unità di lunghezza. Ciò posto, noti che sienò i valori di $E$ e di $R$, sarà facile in ogni caso di determinare, dietro le tracce segnate nel capo antecedente, qual grossezza debba assegnarsi al piedritto, affinchè nè il carico comprimente sia valevole ad infrangerne i materiali, nè la spinta orizzontale della volta possa rovesciarne l' intera massa.

§. 679. Il caso delle volte murate in malta esige da noi più diffuse considerazioni. Queste per la tenacità del cemento, che ne tien congiunte le pietre, si riguardano nella meccanica come se fossero tutte d' un sol pezzo; e se ne disamina poi l' equilibrio nella doppia ipotesi, che apertasi la volta in due, ovvero in tre sezioni, e separatasi conseguentemente in tre, ovvero in quattro parti, tendano alcune di queste, cioè le superiori, a discendere con moto progressivo, o pure con moto rotatorio, ed a spostare l' altre, cioè l' inferiori insieme coi piedritti, cui vanno connesse, imprimendovi un movimento di traslazione, ovvero un movimento di rotazione (1). Ciascheduna delle due ipotesi di rottura somministra due distinte equazioni di condizioni per l' equilibrio della volta, l' una delle quali concerne la possibilità che le parti inferiori con gli annessi piedritti sieno sospinte in fuori con moto orizzontale; l' altra si riferisce al caso che lo spostamento delle stesse masse inferiori succeda pel concepimento d' un moto rotatorio intorno ai lembi esterni delle basi dei piedritti. La matematica disamina della stabilità d' una volta a botte esigerebbe pertanto che l' una dopo l' altra si ponessero a scrutinio l' anzidette quattro equazioni dell' equilibrio, per iscoprire se in tutte contemporaneamente si avverasse la preponderanza di quei membri, che rappresentano l' azione della resistenza, ovvero per far sì che in tutte quante avesse luogo l' accennata prevalenza, dipendentemente dall' opportuna determinazione della grossezza dei piedritti. Ma essendosi veduto in pratica che costantemente quando si avvera la seconda delle due equazioni dipendenti dalla prima ipotesi, che fu proposta dal de la Hire, e per cui la volta non si romperebbe che in tre pezzi, non solo resta soddisfatta anche la prima condizione appartenente all' ipotesi stessa, ma si avverano altresì esuberantemente le due condizioni relative all' altro caso, che la volta tenda a spezzarsi in quattro punti, come fu supposto dal

(1) *Ibidem*. Cap. XI.

Coulomb; n'è venuto di conseguenza che nell'arte delle costruzioni, abbandonate le tre altre condizioni, non si suol far capitale che di quella, che assicura la sussistenza pur delle altre, la quale concerne la possibilità che il piedritto si rovesci attorno il lembo esteriore della sua base, nell'ipotesi che la volta venga a rompersi in tre pezzi. Quantunque in effetto cotesta ipotesi non consuona ai risultati delle accuratissime osservazioni fatte dal Perronet nella costruzione dell'arcate di vari celebri ponti, nè di quelle che fece il Gauthey sopra alcune volte ruinose; nè a quanto apparve dalle sperienze tentate dallo stesso Gauthey nel far demolire altre vecchie volte, e da quelle da lui fatte, e ripetute più in grande dal Boistard sopra nuove volte appositamente costrutte: per cui si è costantemente veduto che il modo effettivo di rompersi delle volte non corrisponde all'ipotesi del de la Hire, ma bensì a quella del Coulomb (1). Nulladimeno i moderni addottrinati architetti ammettono ora generalmente la convenienza di attenersi in pratica, nelle ricerche relative alla stabilità delle volte, alla prefata equazione, comunque dedotta da un'ipotesi non conforme al vero, atteso che favorisce, come dicemmo, la stabilità; ed ove si tratti di determinar la grossezza dei piedritti, presta il modo di mettere a calcolo non la sola apertura, come nelle cieche pratiche degli antichi e de' meno recenti costruttori, ma ben anche tutti gli altri elementi, che debbono influire sulle azioni della spinta e della resistenza; e porge inoltre immediatamente dei risultati che a tante prove si sono riconosciuti sicuri, mentre quelli che si dedurrebbero dalle condizioni dell'equilibrio nell'ipotesi del Coulomb, a giudizio dei più intelligenti e più consumati nell'arte, sarebbero insufficienti a procurare quel tal grado di stabilità, che in esperienza si è conosciuto necessario, e vorrebbero perciò essere accresciuti discretamente ad arbitrio dell'architetto.

§. 680. Sia la volta a botte $CEcc'E'C$ (fig. 277) appoggiata sui piedritti $AaeF$, $A'a'e'F'$, la quale si supponga disposta a rompersi in tre parti, aprendosi nelle due sezioni $Bb$, $B'b'$, equidistanti dalla chiave, o vogliam dire dal vertice; e sia nel punto $O$ il centro di gravità della massa inferiore resistente $AB$. Chiamando $O$ il peso di questa massa, e $G$ il peso del solido superiore $BC$, la preunnziata condizione dell'equilibrio, da cui, per quanto, si è detto testè, devesi arguire la fermezza della volta, si offre nell'equazione

(1) Gauthey - *Construction des ponts* - Lib. II cap. IV sez. I.

$$O.\frac{AT}{BM}=G\left(\frac{KN}{BK}-\frac{AM}{BM}\right).$$

Se per maggiore semplicità faremmo $AF=a$, $Aa=x$, e chiameremo $t$ l'ascissa $eu$, ed $u$ l'ordinata $uB$ del punto di rottura nell'intradosso, ponendo di più $AT=m$, e simboleggiando per $e$ l'angolo $BNe$ fatto dalla linea, condotta dal punto di rottura al punto centrale $N$ della volta, con l'orizzontale, avremo la medesima equazione della stabilità ne' seguenti termini

$$mO=G[(a+u)\,\text{tang.}\,e-t-x],$$

nella quale i simboli $m$, $O$ saranno funzioni della grossezza $x$ del piedritto, e dipenderanno dalla forma e dalle dimensioni della volta, dalla situazione del punto di rottura, e dell'altezza $a$ del piedritto stesso. Gli altri elementi $e$, $G$, $t$, $u$ saranno affatto indipendenti dall'altezza $a$, e, almeno nei casi più conosciuti, dalla grossezza $x$ del piedritto, e dipenderanno semplicemente dalla posizione del punto di rottura all'intradosso, dagli elementi che determinano la figura e la grandezza della volta, e per ultimo dalla gravità specifica del materiale di cui è composta la massa superiore $BC$.

§. 681. Nella meccanica la determinazione de' punti di rottura d'una volta a botte è ridotta ad una ricerca di massimi e di minimi: ma nella pratica giova meglio di far capitale de' risultati dell'esperienza. Per un tempo si è generalmente opinato che nelle volte a botte di tutto sesto i punti di rottura sull'intradosso fossero alla metà della semivolta, o sia alla quarta parte del sesto della volta partendo dall'imposta, vale a dire nel punto di mezzo dell'arco compreso fra l'imposta e la chiave; nel qual caso si ha tang. $e=1$, $u=\frac{r}{\sqrt{2}}=0{,}7071\,r$, e $t=\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}}r=0{,}2929\,r$; e che nelle volte di sesto scemo il punto di rottura cadesse al terzo dell'arco, che si estende dall'imposta alla chiave, o sia al terzo della metà del sesto della volta partendo dall'imposta. Le già citate sperienze del Boistard (§. 679) dimostrarono che la situazione dei punti di rottura è in fatto più prossima all'imposta; così che negli archi di tutto sesto càde al terzo del semisesto della volta, misurato dall'imposta stessa. Ma tuttavia siccome la precedente supposizione, che nelle volte di tutto sesto il punto di rottura sia alla metà, ed in quelle di sesto scemo sia al terzo del semisesto a partir dall'imposte, nell' effettive ricerche relative alla stabilità, ha sempre condotto a conseguenze non ismentite alla prova, così continuano francamente i costruttori a giovarsi nella

pratica di tale supposizione: e su di questa sono fondati i risultati delle tavole calcolate dallo Chezy, di cui si fa uso in Francia dagl' ingegneri de' ponti e strade per la determinazione delle grossezze delle pile o delle coscie nell'arcate dei grandi ponti. Corrispondentemente a questi dati ipotetici, per la volta di tutto sesto, introducendo nell' equazione della stabilità i testè ricavati valori di $t$, di $u$, e di tang. $e$, prende essa la forma generale

$$mO = G\,(a + 0{,}4142\,r - x)\,.$$

Ma per le volte di sesto scemo non può ugualmente aversi un'equazione, che tutti abbracci generalmente i casi, poichè il sito della rottura corrisponde a diversi valori di $t$, di $u$, e di tang. $e$, a seconda delle varie forme dell'intradosso, sebbene si voglia ammettere che cada costantemente al terzo del semisesto, giusta la prefata ipotesi.

§. 682. Nei casi pratici l' apertura e la saetta della volta, il sesto dell' estradosso, e l' altezza del piedritto sogliono adattarsi, a seconda delle circostanze, a particolari condizioni di convenienza, dipendentemente dalle varie destinazioni degli edifici. Ma la grossezza della volta vuol essere onninamente desunta dal riguardo della stabilità. A rigor matematico sarebbe d'uopo che la grossezza di qualsivoglia volta alla chiave fosse tale, che inducesse l' equilibrio fra la pressione che ivi scambievolmente esercitano l' una contra l'altra le due semivolte, e la possanza che hanno i materiali componenti a resistervi permanentemente senza rimanerne schiacciati. Ma da questo principio si ricaverebbero delle grossezze troppo scarse, a confronto di quelle che in esperienza si son conosciute necessarie, affinchè le volte si tengano salde e durevoli a fronte degli scuotimenti cui possono andar soggette, dei carichi di cui possono essere talora accidentalmente aggravate, e dei deterioramenti che possono coll' andar del tempo avvenire nelle pietre e nelle malte che ne compongono la struttura. E di fatti in conformità di cotesto principio all' arcate del gran ponte di Neuilly, ciascuna delle quali ha l'apertura di m. 39 (§. 671), secondo i calcoli addotti dal Gauthey (1), non sarebbe occorsa che una grossezza di m. 0,352 alla chiave: ma pure il sagacissimo costruttore non osò di avventurare volte di tanta estensione, in un edificio esposto alle molestie di tante fisiche ed umane vicende, se non che dando loro una grossezza di m. 1,624 alla chiave. E così in tutti i monumenti dell' antica e della moderna architettura si osserva

(1) *Construction des ponts* - Lib. II cap. III.

che la grossezza verticale delle volte è sempre, or più or meno, molto maggiore di quanto basterebbe pel puro equilibrio fra la resistenza allo schiacciamento de' materiali, e la pressione che sopportano in quella suprema sezione per l'azione scambievole delle due semivolte. L'arcate di tutti i ponti d'antica costruzione hanno una notabile grossezza alla chiave, compresa fra il decimo ed il dodicesimo della loro apertura, ossia del loro diametro, poichè son tutte quante di sesto semicircolare, o sia, come suol dirsi, di tutto sesto. E Leon Battista Alberti insegnava (1) che generalmente ne' ponti la grossezza dell'arcate non avesse a farsi minore della quindicesima parte del vano, ossia dell'apertura dell'arco. Ma gli odierni costruttori hanno stabilite altre regole pratiche, le quali, quantunque assegnino alle chiavi delle volte grossezze minori di quelle, che si osservano negli antichi ponti, e del predetto limite fissato dall'Alberti, nulladimeno possono seguirsi con sicurezza, essendo state giustificate dall'effetto in tanti magistrali edifici della moderna architettura. Presso gl' ingegneri francesi addetti alle pubbliche costruzioni si è introdotta già da qualche tempo la pratica di dare all'arcate de' ponti una grossezza verticale uguale a $\frac{5}{144}$ dell' apertura con l'aumento costante di m. 0,32 (2). A questa regola corrisponde la grossezza assegnata dal Perronet, come poco fa abbiamo detto, alle grandi arcate del ponte di Neuilly; come pure vi corrispondono le grossezze dell'arcate degli altri ponti più recenti della Francia. I costruttori Italiani sogliono tenere la grossezza alla chiave delle grandi volte de' ponti uguale ad $\frac{1}{24}$ dell' apertura, come appunto si è praticato ai due novelli ponti già menzionati del Taro e di Boffalora: e noteremo che a questa regola si trova quasi esattamente conforme la grossezza della volta principale nella basilica Vaticana, la quale è di circa m. 1,20, mentre l'apertura della volta è, come fu già avvertito altra volta (§. 658), di m. 27,50.

§. 683. L'osservazioni e le regole testè indicate appartengono alle più grandi volte, ed a quelle segnatamente, che per la destinazione dell'edificio di cui fan parte, sono soggette ad essere travagliate da scuotimenti, o da carichi eventuali. Queste sogliono avere una grossezza costante in tutti i punti dell'intradosso: hanno anche sovente una grossezza gradatamente crescente dal vertice verso l'imposte: talor sono

(1) Lib. VIII cap. VI.
(2) Sganzin · Lez. XVIII.

rinfiancate alle spalle da un masso di muramento in protrazione de' piedritti, fino all'altezza verosimile de' punti di rottura: e finalmente hanno pure talvolta questo rinfianco protratto all' insù fino all' orizzontale che passerebbe pel vertice dell' estradosso; nel qual caso anzi, che è comunemente quello dell' arcate de' ponti, i costruttori francesi raffigurano in cotesta orizzontale l' estradosso, e chiamano sì fatte volte *extradossées de niveau*. Alcune fiate invece d' un rinfianco continuato s' impiegano a corroborare i fianchi della volta dei contrafforti elevati fino alla metà circa della saetta, i quali sogliono disporsi a modo che la vicendevole loro distanza sia uguale ad un terzo dell' apertura della volta, assegnandosi a ciascuno di essi una grossezza uguale presso a poco ad un decimo di detta distanza. Nelle volte a calotta si usa ordinariamente un rinfianco continuato, formato a scaglioni; come si può vedere nel Panteon d' Agrippa (fig. 246), e nel tempio palladiano di Maser (fig. 248), di cui facemmo altra volta menzione (§. 649 n.° 1.).

Per la grossezza delle volte di minor apertura, e singolarmente per quelle che non debbono sopportare nè scosse nè carichi straordinari, aggiungeremo alcune regole pratiche suggeriteci dal Rondelet (1)

1. Asserisce esso primieramente d' aver conosciuto, come già il Couplet, che in un arco di grossezza uniforme la grossezza non dovrebb'esser minore d' un cinquantesimo del raggio. Soggiunge però che siccome le pietre ed i mattoni non sono mai di qualità perfetta, come si era supposto nel calcolo, così è d' uopo d' accrescere alquanto la detta grossezza; e quindi stabilisce che ad una volta a botte avente prossimamente da 3 a 5 metri di diametro, quando sia costrutta comunque di mattoni, debba assegnarsi una grossezza di circa m. 0,11, e qualora sia fabbricata in pietra tenera, come quelle del tempio di s. Genueffa, debba darsi loro una grossezza di m. 0,14 alla chiave; ben inteso che debba poi così nell' uno come nell' altro caso venirsi aumentando gradatamente la grossezza fino ai pulvinari.

2. Avverte dipoi che, quando le spalle d' una volta a botte di qualsivoglia sesto sono rinfiancate fino all' altezza de' punti di rottura, essa dovrà avere di grossezza alla chiave per lo meno la quinta parte della saetta dell' arco, che si estende dal vertice fino al punto di rottura; aggiungendo a questa quinta parte della saetta nelle volte murate in gesso $\frac{1}{144}$, in quelle murate in malta ordinaria $\frac{1}{96}$, e finalmente in quelle

---

(1) *Art de bâtir* — Lib. V sez. IV artic. VI.

costrutte a cunei di pietra tenera $\frac{1}{72}$ della corda, cui insiste il predetto arco. E prescrive di più che in questo caso ancora debba crescere gradatamente la grossezza, discendendo verso i punti di rottura, a modo che a questi punti, ove comincia il rinfianco, la grossezza della volta sia alla grossezza della chiave, determinata come si è detto, :: 3 : 2.

3. Finalmente osserva che nelle volte a crociera, in quelle a schifo, e nelle calotte rinfiancate fino ai punti di rottura, basta di far la grossezza alla chiave uguale ad un quinto della saetta di quell' arco, che va dalla chiave al punto di rottura, senza che sia d'uopo di verun aumento.

§. 684. Conoscendo l' apertura la saetta e la curva dell' intradosso, fissata la grossezza della volta nella chiave, e determinata la curva dell' estradosso, l' equazione ($A$) (§. 680) servirà a determinare la grossezza $x$ del piedritto, ovvero ad esaminare la stabilità della volta, quando anche cotesta grossezza sia nota, supponendo i punti di rottura alla metà o al terzo del semisesto, come si è detto di sopra (§. 681), secondo che la volta è di tutto sesto ovvero di sesto scemo. Per una volta di tutto sesto abbiamo già veduto che tale equazione prende la forma ($B$) (§. precit.); ove se supponiamo che la grossezza della volta sia uniforme ed $=c$, e chiamiamo $P$ il peso specifico del muramento nel solido inferiore resistente, e $p$ il peso specifico del solido superiore spingente troveremo

$$mO = P\left(\frac{ax^2}{2} + 0{,}3927(3.0{,}3998\,cr(c+r) + cx(c+2r)) + 0{,}3998\,c^3)\right)$$

$$G = 0{,}3927\,cp(c+2r).$$

Fatte queste sostituzioni nella detta equazione ($B$), non resterà che a porre in vece dei vari simboli letterali i corrispondenti valori numerici, per poter riconoscere in ogni caso se la stabilità sussista, dati che sieno tutti cotesti valori; ovvero per poter determinare la grossezza $x$ del piedritto in modo confacente al bisogno della stabilità. Si vede che l'equazione relativamente alla grossezza $x$ diviene del secondo grado; e quindi non presenta difficoltà alcuna la di lei soluzione.

Così per es. se si volesse cercare qual grossezza dovrebbero avere i piedritti d'una volta di tutto sesto, e di uniforme grossezza, la quale avesse l'apertura di m. 27,50, o sia il raggio $r$ di m. 13,75, essendo $c=1{,}20$, ed $a=27$ metri; che è appunto il caso della volta principale del tempio di s. Pietro in Vaticano; si avrebbe

$$m O = P(13,5000\,x^2 + 13,5246\,x + 11,8896);\ \text{e}\ G = 13,5246\,p.$$

Posti i quali valori, e quelli di $a$, e di $r$ nell'equazione ($B$), e fatto $P = p$, se ne deduce $x = 4,75$; vale a dire che la grossezza de' piedritti dovrebb' essere di m. 4,75.

§. 685. Che se prendiamo a considerare una volta, che abbia l'estradosso in una retta orizzontale (§. 683), come suol accadere nell'arcate de' ponti, intendendo che la riempitura di muramento in protrazione dei piedritti si estenda fino a cotesta orizzontale, e fino alle due verticali, che costituiscono il vivo esterno de' piedritti, ritenendo in tutto le fin qui usate denominazioni, avremo

$$m\,O = P\left\{\frac{a x^2}{2} + \frac{(c+r)(x-c)^2}{2} + \frac{(c+r)^2(3x - 2c + r)}{2.3} - 0,3927\,r^2(0,3998\,r + x)\right\};$$

$$G = p\left(\frac{(c+r)^2}{2} - 0,3927\,r^2\right).$$

E se porremo tali valori di $m\,O$, e di $G$ nella solita equazione ($B$), potremo da essa conoscere se sussista la stabilità d'una volta, di cui sieno note la forma e tutte le sue dimensioni, come altresì quelle de' suoi piedritti. E quando tutti gli elementi fossero dati salvo la grossezza $x$ del piedritto si potrà questa determinare corrispondentemente al bisogno della stabilità. Si vede che anche in questo caso l'equazione non è che del secondo grado.

Se, a cagion d'esempio, si volesse indagare quale grossezza sarebbe necessaria al piedritto d'una volta di tutto sesto dell'apertura di m. 20, avente di grossezza alla chiave un metro, come prossimamente dà la regola de' costruttori francesi (§. 682), essendo l'altezza $a$ del piedritto di m. 5, e dovendo l'estradosso della volta essere in una retta orizzontale, si avrebbe $r = 10$, $a = 5$, $c = 1$: e quindi risulterebbe

$$m\,O = P\,(8\,x^2 + 10,23\,x + 9,8317);\ G = 21,23\,p.$$

Supponendo poi $P = p$ si troverebbe, per mezzo dell'equazione ($B$), $x = 3,22$; onde si scorge esser questa la grossezza che dovrebbe assegnarsi al piedritto.

§. 686. Gli addotti esempi, desunti da due casi de' più ovvi nella pratica, basteranno a mostrare agli studiosi come abbiasi a procedere in qualsivoglia altro caso. Avvertiamo che quantunque l'equazione generale,

di cui abbiamo suggerito l'uso, e di cui ci siamo prevalsi nelle precedenti applicazioni, provveda per se stessa, come fu già notato, non al puro equilibrio ma bensì alla stabilità della volta, tuttavia alle grossezze de' piedritti, che per mezzo di essa vengono determinate, consigliano i più assennati pratici che si dia qualche aumento. Cotale aumento per altro, anche per le più grandi arcate de' ponti, si fissa che non abbia ad oltrepassare il limite di 18 pollici parigini, che sono circa m. 0,50; e per l'arcate di mediocre ampiezza, come son quelle che hanno 10 in 12 metri d'apertura, si prescrive che l'aumento abbia ad essere di m. 0,18. I termini intermedi a questi due limiti potranno dunque opportunamente applicarsi alle varie grandezze delle volte. Per le piccole arcate de' ponti si sono riconosciuti sufficienti i risalti de' due zoccoli; che ordinariamente sogliono porsi a piedi delle pile, a ciascuno de' quali si suol dare lo sporto di circa m. 0,05 (1),

§. 687. Ci siamo proposti di limitare le nostre discussioni, intorno al modo di procedere in pratica all'esame della stabilità delle volte, al solo caso delle volte a botte; divisando che ciò possa bastare ad aprir l'adito agli studiosi a quelle considerazioni che si richiedono a dedurre le condizioni della stabilità in ogni altra specie di volte. Gioveranno tuttavia alcuni brevi cenni a mostrare in qual guisa, come si asserì da principio (§. 677), la ricerca della stabilità possa in ogni altra specie di volte, o almeno nelle più semplici e più conosciute, essere ridotta al caso d'una volta a botte.

Una volta a vela insistente ad una base quadrata (§. 646), ovvero più generalmente ad una base rettangolare (§. 647) $ABCD$, esercita contro i due piedritti $AN$, $BQ$, sorgenti ne' due opposti lati $AD$, $BC$ della sua base, una spinta, che nella totalità del suo effetto equivale alla somma delle spinte di tutti gli archi elementari $abcd$ contro gli elementi $an$, $bq$ de' piedritti stessi. Ora se si considera l'arco elementare $abcd$, questo per la genesi della volta ha sempre per intradosso un arco di circolo, di cui il raggio e la corda sono funzioni analiticamente reperibili della distanza $Aa = z$; come pura funzione di questa medesima distanza è l'altezza del piedritto nel punto $a$; e stabilita opportunamente la grossezza della volta nel vertice (§. 682, 683), e scelta pure a proposito la superficie dell'estradosso, saranno anch'esse reperibili, dipendentemente dalla distanza $z$, la grossezza in chiave dell'arco elementare $abcd$, e la curva dell'estradosso dell'arco stesso. Si potrà quindi per mezzo dell'equazione generale ($A$) della stabilità d'una volta

---

(1) Sganzin - Nella precitata appendice.

a botte (§. 680), ottenere un'equazione fra le due variabili $x$, $z$, che esprimerà la condizione della stabilità dell'archetto $abcd$, e de' piedritti $an$, $bq$ cui esso insiste. Egli è dunque chiaro che la grossezza del piedritto $AN$ in qualsivoglia punto $a$ sarà l'ordinata $x$, che corrisponde all'ascissa $z$ del punto $m$ d'una curva $MmN$, la quale è data per l'anzidetta equazione: laonde si può conoscere e analiticamente e geometricamente la grossezza dovuta al piedritto in qualunque punto $m$. Ma siccome, supponendo la volta murata in malta, gli archetti elementari che la compongono, formano una massa unica, così può considerarsi che l'aggregato di tutte le spinte elementari agisca come se fosse ugualmente distribuito per tutta la lunghezza $AD$ del piedritto; da che s'inferisce che questo potrà farsi di grossezza uniforme, purchè il suo volume sia uguale o maggiore di quello che corrisponderebbe al profilo icnografico curvilineo $MmN$. Perciò determinando per mezzo della preindicata equazione fra $x$ e $z$ l'area $ADNmM$, ed assumendo la larghezza $Ae$ del rettangolo $AeoD$ tale che la superficie d'esso rettangolo divenga uguale alla predetta area, sarà questa larghezza $Ae$ la grossezza uniforme da assegnarsi al piedritto. Si vede facilmente come potrebbe anche ottenersi l'intento con una grossezza minore di $Ae$, purchè alle due estremità, o sia agli angoli $AD$ della pianta, si stabilissero due contrafforti, che supplissero alla scarsa grossezza della parte intermedia del piedritto. E si scorge ancora che potrebbe la parte intermedia esser vacua fin sotto l'arco, che ha per intradosso l'intersezione della vela con la faccia interna del piedritto, purchè agli angoli fossero de' pilastri, il volume de' quali eqniparasse quello del piedritto continuato ed uniforme sulla base $Ao$. In ugual modo si dovrebbe istituire la ricerca della stabilità relativamente ai due piedritti sorgenti agli altri due opposti lati $AB$, $DC$.

688. Se sulla stessa pianta rettangolare $ABCD$ insistesse una volta a crociera (§. 652), la disquisizione della stabilità potrebb'essere desunta da considerazioni analoghe a quelle che abbiamo applicate alla volta a vela, osservando che l'arco elementare in tal caso sarebbe $hrsk$; e che trascurando le masse laterali $ahrd$, $bksc$, le quali appartengono alla botte trasversale, e non agiscono contro i piedritti, ma bensì col loro peso accrescono il momento della resistenza de' piedritti stessi, non si farebbe che favorire la stabilità. Laonde si potrà sicuramente procedere come se gl'intervalli $ah$, $bk$ fossero zero. Si perverrà così anche in questo caso ad un'equazione fra $Aa = z$, ed $am = x$, che darà a conoscere la curva $MmN$ delle grossezze del piedritto, e da cui si potrà dedurre l'area $AN$, e quindi la grossezza uniforme $Ae$ competente al piedritto, come nel caso della volta a vele. E qui pure è da

osservarsi che al piedritto continuato ed uniforme $Ao$ si potranno francamente sostituire due pilastri, eretti all'estremità del lato $AD$ della pianta, purchè il volume di questi uguagli quello del piedritto andante $Ao$, ovvero quello di grossezza variabile $AN$.

§. 689. Supponiamo che la medesima area rettangolare $ABCD$ sia coperta da una volta a conca (§. 652). In tal caso i due piedritti elevati lungo i lati opposti $AD$, $BC$ debbono ostare allo sfiancamento della botte, che ha in essi le sue imposte, sminuita delle due porzioni, che si proietterebbero in pianta nei due triangoli $AGB$, $DGC$, e così i due piedritti eretti lungo gli altri due lati opposti $AB$, $DC$ debbono frenare lo sfiancamento della botte, che su di essi s'imposta, scemata delle due porzioni $AGD$, $BGC$, che appartengono all'altra botte. Converrà dunque prima per la botte, che ha la sua imposta in $AD$, ed in $BC$ ripigliare l'equazione generale (A) della stabilità (§. 680), e fare in esse l'opportune sostituzioni, avvertendo di prendere i valori di $G$, e di $O$ non quali sarebbero se la botte fosse intera, ma quali si riducono, detratte le porzioni $AGB$, $DGC$; e quindi far altrettanto per la botte che si appoggia ai due piedritti elevati lungo i lati $AB$, $DC$ della base: onde ottenere così separatamente le due equazioni della stabilità e per l'una e per l'altra botte; da cui si potranno ricavare i valori delle grossezze da assegnarsi ai rispettivi piedritti. Si potrebbe per altro procedere eziandio in questo caso come ne'precedenti, e pervenirsi anche per questa via alla determinazione delle grossezze de'piedritti. Si vedrà facilmente come le medesime considerazioni, ora fatte relativamente alle volte a conca, sieno applicabili ancora alle volte a spicchi rientranti (§. 654), elevate sopra una pianta poligona. E quindi si offre il modo di procedere anche all'esame di quanto concerne la stabilità delle volte a calotta, e delle cupole: poichè qualsivoglia calotta si potrà sempre considerare in pratica come una volta a spicchi rientranti, innalzata sul dodecagono, ovvero sopra un poligono di maggior numero di lati, inscritto nel circolo base della calotta; e se ne potranno così dedurre in termini ragionevoli e sicuri le condizioni della stabilità.

In tutti questi casi ultimamente considerati agisce a favore della stabilità l'azione reciproca de'muri o piedritti, che recingono tutt'all'intorno il vaso coperto dalla volta, i quali nel mutuo concorso si ritengono l'uno con l'altro, in grazia della tenacità delle malte, che ne uniscono le masse. E siccome del vantaggio, che da ciò ritrae la resistenza, non abbiamo stabilito che se ne tenga conto, così apparisce un nuovo motivo di sicurezza ne'risultati, ai quali si perverrà coi metodi indicati, e si scorge che in qualche caso potrà anche assegnarsi

senza tema ai piedritti una grossezza alcun poco minore di quella, che emergerebbe dai predetti risultati.

§. 690. Ad assicurar la stabilità delle volte, quando per qualsivoglia causa non sia permesso di costruire i piedritti di grossezza corrispondente al bisogno, si fa uso di catene o chiavi di ferro, le quali allacciando i due fianchi d'una volta, si oppongono al loro scambievole discostamento. Si fasciano anche le cupole con cinture di ferro, allorchè per la debolezza del piedritto rientrante, a cui esse si appoggiano, non sarebbero abbastanza sicure. Abbiamo indicato nel precedente libro (§. 456, 457) le norme opportune per valutare la resistenza di simili ferramenti di ritegno, quando si è costretti dalla necessità a farne uso. È massima inveterata fra gli architetti che così le chiavi come le cinture debbano essere collocate al terzo dell'altezza della saetta della volta o della cupola, a partir dall'imposte. Più rigorosamente per altro deesi stabilire che vadano collocate all'altezza de' punti di rottura, ove evidentemente il momento, col quale la tenacità di esse si oppone al rovesciamento de'piedritti, ha il massimo de' valori possibili. Che se si volesse istituire l'esame della stabilità d'una volta, rinforzata da una catena di ferro, non si avrebbe che a riassumere l'indagine sulle medesime tracce di prima, ponendo di più a calcolo il momento della tenacità della chiave, che insieme con quello delle masse inferiori agisce contro il momento delle parti superiori, e cospira ad impedire il rovesciamento de'piedritti. Si otterrebbe così una nuova equazione di condizione, per mezzo della quale data la figura della volta, e date tutte le sue dimensioni e quelle altresì del piedritto, si potrebbe determinare l'area della sezione della catena di ferro, in modo che la resistenza di questa supplisse alla scarsa grossèzza del piedritto, a provvedere opportunamente alla stabilità del sistema.

Quantunque abbiamo inculcato (§. 456) doversi generalmente sfuggire l'impiego dell'allacciature di ferro nelle costruzioni murali, le quali disdicono a quella semplicità di metodo che tanto si apprezza nell'arti, e fa onore agli artefici, ed in sostanza fanno apparire il poco accorgimento dell'architetto, che si è messo nel caso di dover ricorrere a tali meschini ripieghi per non aver saputo ottenere l'intento con quei mezzi più semplici e più propri, che sono propri dell'arte: tuttavia, potendo la pratica offrir talvolta delle circostanze, che meritino eccezione, e per le quali si renda compatibile l'applicazione di tali ripieghi, segnatamente nella costruzione delle piattabande, gioverà di conoscerne alcuni più ingegnosi ed applauditi esempi, riferiti dal Rondelet (1) e dal Borgnis (2).

(1) *Art de bâtir* - Lib. III sez. II artic. III.
(*b*) *Traité élementaire de construction* - Lib. II cap. II.

Le piattebande del colonnato del Louvre a Parigi hanno due ordini di cunei, l'uno in linea dell'architrave, l'altro del fregio, come vedesi nella fig. 279, sostenuti da due chiavi di ferro orizzontali, fermate a due aste verticali, sorgenti sul prolungamento degli assi delle colonne. I cunei sono scambievolmente uniti per mezzo di arpesi a forma di *Z*.

Le piattebande al secondo piano del vestibolo nella chiesa di s. Sulpizio, pure a Parigi, hanno anch'esse due ordini di cunei (fig. 280), dei quali l'inferiore è traversato da verghe di ferro orizzontali, e queste di due in due cunei sono sostenute da staffe, che si appigliano ad altre spranghe di ferro distese sull'estradosso. Il second'ordine di cunei è sormontato da un'armatura di ferro, cui per mezzo di quattro staffe si attengono le verghe orizzontali dell'ordine inferiore.

Finalmente nel portico del più volte ricordato tempio di s. Genueffa al di sopra di ciascuna piattabanda corrisponde il vano d'un arco (fig. 281), a traverso il quale si distende una chiave $tt$, fermata ad aste verticali di ferro, erette in protrazione degli assi delle colonne. Da questa chiave sono sostenuti i cunei della piattabanda per mezzo d'arpesi di ferro fatti a T. I cunei della parte di mezzo della piattabanda sono infilati in un lungo perno $dd$, che per mezzo di due staffe inclinate $c, c$, si attengono all'aste verticali $b$, $b$, sorgenti alle due estremità dell'arco. Il bello di questo sistema, architettato dal Rondelet, consiste nell'essere congegnato in guisa, che in grazia di esso l'azioni della piattabanda, e dell'arco sovrastante, si elidono scambievolmente; il che è facile ad arguirsi, per poco che si consideri la disposizione, e le vicendevoli relazioni, che ne risultano fra l'azioni delle varie parti del sistema.

§. 691. Il metodo proposto per procedere in pratica alle ricerche relative alla stabilità delle volte, ha in sè il vizio essenziale d'esser fondato su d'una fallace dottrina; quanto che si parte da un'ipotesi non consentanea ai fenomeni fisici, quale si è quella del de la Hire. Nulladimeno siccome conduce a risultati favorevoli a prova, per quanto già si disse (§. 679), alla stabilità: mentre quelli che si dedurrebbero da una teoria ligia per così dire alla realtà de' fenomeni, quale è quella del Coulomb, non rassicurano abbastanza i più intelligenti e sperimentati costruttori: così questi ammettono concordemente che si possa seguire nella pratica l'anzidetto metodo, e generalmente a questo si sono attenuti e si attengono nelle più grandi e più gelose imprese di ponti, il buon successo delle quali giustifica tutto dì la convenevolezza di sì fatto modo di procedere. Aggiungasi che l'equazione a cui guida l'ipotesi del Coulomb, quantunque semplice a primo aspetto, riesce poi nel fatto complicatissima, e presso che intrattabile, in grazia delle quantità

trascendenti, ch'egli è forza d'introdurre nel calcolo. Con tutto ciò siamo costretti a confessare che questa parte importantissima dell'architettura statica è ben lungi da quel rigore, e da quella perfezione, a cui tendono oggidì tutti gli sforzi dell'umano ingegno in ogni ramo d'applicazioni delle matematiche discipline. Per ben due volte l'insigne società di Modena tentò d'impegnare i dotti italiani a speculare su questo difficile argomento, ad investigarne i veri principii, e ad additare quindi le più sicure tracce da seguirsi nelle pratiche applicazioni (1). Se infruttuoso fu il primo invito, è da desiderarsi che non riesca ugualmente vano il secondo; e vogliamo sperare che alla replica di sì nobile appello non saranno sordi gl'ingegni, che abbondano in ogni parte d'Italia, e che dalle loro meditazioni scaturirà feconda sorgente di lume a rischiarare questo tema, ad incremento della scienza architettonica, e ad onore del nome italiano. Noi non abbiamo avuto nè il tempo nè il coraggio d'accingerci a sì ardua impresa. Ma nel dubbio che tardino a compiersi le concepite speranze, a pro di quelli che studiano e professano in Italia l'arte delle costruzioni, non abbiamo intanto voluto omettere d'illustrare un metodo, cui non hanno sdegnato e non isdegnano di attenersi i moderni più dotti e più cauti architetti; il quale se non procede da rigorose teorie, offre almeno la sicurezza di quella giusta stabilità, che costituisce uno de' primari oggetti dell'arte edificatoria.

## CAPO IX.

### *Degl' intonachi è de' pavimenti.*

§. 692. Intonaco è quella crosta di malta, di cui si ricuoprono le superficie de' muri onde renderle piane e polite; e per garantire le masse murali dai pregiudizi dell'influenze atmosferiche. Si fa uso per gl'intonachi di varie specie di malte, secondo le diversità delle circostanze, e degli effetti che si vogliono conseguire. In generale si è riconosciuto utile il già riferito precetto vitruviano (§. 534) di adoperare nella composizione delle malte, destinate a servir per gl'intonachi, della calcina stagionata, cioè tenuta molto tempo in serbo dopo l'estinzione. Taluni anche pretendono che giovi d'apparecchiar le malte da intonacare qualche tempo prima che si abbiano a porre in opera. Non di rado le facce

(1) V. *Biblioteca italiana* - Tomo XLI pag. 456.

esterne da muri nelle fabbriche si lasciano senza intonaco, limitandosi a colmare di malta ben compressa e conguagliata le commessure delle pietre. Quest' operazione dicesi *rabboccatura*, ovvero *rinzeppatura*; onde *rabboccare*, rinzeppare. Ma ove si ricerchi migliore apparenza, e maggior solidità, si adatta alle muraglie una fodera esteriore di pietra da taglio, ovvero di mattoni rotati, dai quali risulta quella bella struttura apparente, che, come altra volta si disse, è denominata opera *a cortina* (§. 613).

§. 694. L' intonaco ordinario de' muri è composto di due, e anche talvolta di più strati. Il primo dicesi *rinzaffatura*, e si fa con malta alquanto più grassa, cioè più ricca di calcina (§. 550), di quella ch'è destinata per gli ordinari muramenti (§. 551). Le facce di muri si dispongono a ricevere la rinzaffatura col nettarle ed inaffiarle. Questo primo strato d' intonaco produce una superficie scabra ed irregolare. Su di esso, quando si è ben asciugato, si applica il secondo strato, che dicesi *arricciatura*, e si compone di malta meno grassa, che si distende con la cazzuola, e si conguaglia confricando la superficie con un dado di legno, denominato volgarmente *frataccio*, ovvero *fratazzo*, e spruzzandola di mano in mano con un pennello intinto nell'acqua. Quindi la maniera usuale di dire *arricciatura fratazzata*. Ad ottenere una superficie più tersa si cuopre l' arricciatura con un terzo leggiero strato di malta fina, cioè passata per crivello; ed è questo conosciuto nell' arte sotto il nome di *scialbo*, ovvero di *colla*.

Si fanno anche degl' intonachi di gesso, composti ugualmente di tre strati. In tal caso si rinzaffa il muro con malta di gesso piuttosto liquida; si arriccia con malta più densa e più purgata; e finalmente si scialba, o vogliam dire s' incolla, con una malta più fina di gesso passato per setaccio. Non occorre di ripetere il perchè sì fatti intonachi non sieno adattati per quei muri, che sono comunque soggetti all' umidità del terreno, e dell' atmosfera.

§. 695. Soggiugniamo alcune interessanti avvertenze circa la pratica esecuzione degl' intonachi.

1°. Importa che la superficie dell' intonaco ne' muri dritti riesca perfettamente piana, e verticale, ovvero inclinata secondo l' inclinazione della scarpa della muraglia. Ciò si ottiene con l' uso del piombo, e della riga. Si formano col sussidio di tali strumenti delle liste verticali d' intonaco, a discreta distanza l' une dall' altre, nella faccia che devesi stabilire, ovvero, se il muro è a scarpa, delle liste giacenti in tanti piani verticali, e normali alla lunghezza del muro. Quindi facilmente si comprende come queste liste, formate in modo che facciano tutte parte della superficie piana che si vuol ottenere, abbiano a servir di guida alla

riga, per compiere l'apposizione dell'intonaco ne'frapposti intervalli. Se si tratta d'intonacare l'interno d'una volta, l'operazione vuol'essere regolata con l'uso d'opportune sagome di legno.

2.° Le muraglie di mattoni, quelle di pietre dure, e quelle ancora di pietre tenere, che sieno state estratte dalla cava molto tempo prima di essere adoperate, per cui abbiano avùto campo di spogliarsi di quella umidità, che sogliono quest'ultime portare dal seno della terra, possono essere stabilite immediatamente dopo che son fatte, ed anche di mano in mano nel progresso della loro costruzione. Ma quei muri, che son fabbricati di pietre tenere fresche di cava, debbono lasciarsi completamente ascingare prima d'intonacarli: poichè senza di questa avvertenza l'umidità rinchiusa nella massa del muro spingendosi verso la superficie, ed impedita dell'intonaco ad esalare in vapore, fa forza sotto la crosta, la distacca, la fa screpolare, e sfogliarsi. Si è osservato che il lasso d'un anno circa è necessario pel perfetto ascingamento di quelle pietre tenere, che provengono da cave umide.

3.° Dovendosi intonacare vecchie muraglie, è d'uopo di scalzar prima le commessure con un ferro appuntato, per estrarne le malte che avessero patito, e per dar modo all'intonaco d'abbarbicarsi, per dir così, al muro, e di attaccarvisi più saldamente. Si netterà quindi accuratamente la faccia che si vuol intonacare, e si verrà di mano in mano bagnando prima di stendervi l'intonaco.

4.° Qualora il vecchio muro fosse corroso alla superficie, o se ne conoscessero ivi deteriorati i materiali, converrebbe prima di tutto *spicconarlo*, cioè distaccarne col piccone tutte quelle parti superficiali, che avessero sofferto deterioramento; dopo di che si dovrebbe spazzare diligentemente con una scopa o granata; e quindi applicarvi una spoglia di malta intarsiata di cocci o di scaglie di pietra, a modo da rimetterne la parte mancante, e ridurne la superficie al primiero stato regolare. Questa preliminare riparazione dicesi *rincocciatura*. Risarcito così il muro, si applica l'intonaco sulla sua superficie nella maniera consueta.

5.° Gli intonachi de'muri nell'interno delle fabbriche possono francamente eseguirsi in qualunque stagione. Ma per gl'intonachi esterni si rende essenziale, anche più che per la costruzione de'muri (n. 614), di sfuggire le stagioni del gran freddo e del gran caldo, se non si vuole andare a rischio di veder screpolare, sgretolarsi, e cadere ben presto l'incrostatura

§. 696. Nei luoghi umidi, come sono i sotterranei, e spesso anche i pianterreni delle fabbriche, è cosa molto utile d'adoperare per la costruzione

degl' intonachi, secondo il suggerimento di Vitruvio (1) della malta di calcina, e di cocci in polvere. Ove poi si tratti d'incrostare cisterne, vasche, acquedotti, ed altri simili edifici ad uso di serbatoi, ovvero di condotti d'acqua, convien ricorrere a malte di particolare composizione, che divengano impermeabili al fluido, e capaci di conservarsi illese nell'acqua. Gli antichi in simili casi facevano uso d'intonachi ben massicci, composti ordinariamente di tre strati. Il primo strato, della grossezza di 8 in 11 centrimetri, era formato d'uno smalto o bitume di malta e scaglie di pietra; il secondo, grosso circa 3 centimetri era fatto con un cemento di pozzolana, o di mattone infranto, e qualche volta d'entrambe queste materie commiste alla calcina; il terzo finalmente consisteva in una sottilissima crosta di malta di calcina e polvere di mattone passata per setaccio. Utilissima poi era la pratica antica di pigiare gl'intonachi, con che si rendevano più compatti, e più tenaci, e si richiamava alla superficie l'interna umidità, onde questa si dissipava più sollecitamente, e non aveva campo di produrre sull'intonaco quei pregiudizi, che derivano dalla concentrazione dell'umido, e dal troppo lento ed ineguale suo dissipamento.

§. 697. Gli stucchi per la formazione delle cornici, de' capitelli, e d'ogni sorta d'ornati in rilievo possono considerarsi come appartenenti alla classe degli intonachi. Per abbozzare sì fatti ornati in rilievo si adopera una pasta di semplice gesso, ovvero di muramento ordinario quando si tratta di grandi masse. Il gesso però deesi scrupolosamente escludere nei lavori esposti all'aria ed all'intemperie; ed allora conviene sostituire ad esso una malta di pozzolana, o di laterizi polverizzati. Si finisce il lavoro delle cornici, ed altri rilievi d'ornamento, con pasta di gesso e di calcina, largheggiando di mano in mano sempre più di quest'ultima, finchè poi a dar l'ultima perfezione all'opera si stende un'ultima crosta di stucco composto di calcina viva e di polvere di marmo. Questi due componenti si uniscono in quantità uguali, ove lo stucco debba servir per fiorami ed altri minuti ornamenti; ma la quantità della calcina vuol esser doppia di quella della polvere di marmo nella costruzione delle cornici, ed altri lavori più massicci. L'opportuna preparazione della calcina, l'impasto dello stucco, ed il modo d'applicarlo, dipendono da un complesso di regole, che costituiscono l'arte dello stuccatore, e che possono leggersi nell'opera di Rondelet (2), il quale le ha con gran diligenza raccolte, corrispondentemente alle usate pratiche dai fratelli Albertolli, cui

(1) Lib. V cap. X.
(2) *Art de bâtir* - Lib.

appartiene il vanto d'aver innalzato a' nostri giorni quest'arte al più alto grado di perfezione.

§. 698. Torna qui a proposito d'insegnare la composizione d'una specie di stucco adattatissima a stagnare le fessure ne' muri che servono di sponde alle cisterne, e ad altri somiglianti ricettacoli d'acqua. Si mescolino uguali quantità di pece liquida e di sevo, e si faccia bollire il miscuglio in una pentola, o in una caldaia, finchè si sollevi la schiuma. Levato allora dal fuoco il vaso, e lasciata raffreddare la materia contenuta, vi s'infonderà a poco a poco della calcina viva in polvere, e si rimenerà intanto ben bene, finchè le materie miste formino una pasta di giusta consistenza. Questa introdotta nelle crepature de' muri, e compressa diligentemente, chiuderà l'adito all'acqua, e farà cessare ogni filtrazione.

§. 699. L'incrostazione delle pareti nell'interno degli edifici ha per unico scopo la decenza e la venustà, a cui però deve andar congiunta quella solidità, ch'essenzialmente si richiede in qualsivoglia opera dell'arte. L'incrostature più magnifiche sono quelle che sono formate con lastre di marmi, o di pietre nobili; e queste sono riserbate ordinariamente pei sacri tempi, per le gallerie e per le sale ne' più sontuosi appartamenti. Si possono anche imitare i veri marmi della natura con istudiati intonachi. Se per es. si stenderà sulla superficie del muro una pasta di gesso e d'acqua di colla, e su questo primo strato se ne apporrà un secondo più sottile, d'un impasto di polvere finissima di scagliola, o sia gesso speculare calcinato, parimente con acqua di colla, frammischiandovi ocra gialla, rossa, o d'altri colori a piacimento; e quindi si lustrerà la superficie dell'intonaco, quando sarà asciutto, prima con sabbia, poi con pomice e con acqua, e finalmente con olio; essa prenderà così bene l'apparenza del marmo, chè se i colori saranno combinati artificiosamente in modo, da imitare le consuete screziature delle pietre naturali, il solo occhio de' più esperti potrà non restarne ingannato (1). Gli antichi facevano gl'intonachi di tal consistenza e perfezione, che anche dopo molti e molti secoli ne rimangono mirabili avanzi, i quali staccati dai muri, cui furono aderenti, offrono delle lastre così dure, e suscettibili di polimento, come se fossero di pietre naturali. La grossezza di cotesti antichi intonachi varia da 5 a 13 centimetri; e vi si scorgono talvolta fino a sette strati distinti. Esaminando attentamente cotesti intonachi, si travede in essi l'adempimento di quel metodo

(1) Masi - *Teoria e pratica d'architettura civile* - Cap. IV §. III.

accurato che vien descritto da Vitruvio (1), e che noi per brevità non istaremo qui a ripetere. Le superficie ne erano ridotte ad una squisita lavigatezza, e venivano dipinte mentre erano ancor fresche, o a modo di prendere l'apparenza de' più vaghi marmi, ovvero con leggiadri ornamenti di figure, di festoni, di fiorami, e d'altre capricciose immagini, con tutta quell'eleganza e quella finitezza, cui il pennello sapeva giugnere in quei giorni così fausti a tutte le belle arti.

§. 700. Può bastare ciò che fu detto nel libro primo (§. 119 e seg.) intorno ai massicci e solidi pavimenti delle strade; e quindi ci resta qui solo a parlare della costruzione de' pavimenti nelle parti interne degli edifici. Questi si compongono comunemente di pietre naturali, ovvero di laterizie. Le pietre vi si adoperano in lastre rettangolari grandi o mezzane, uguali o disuguali fra loro; talvolta diversamente configurate, e disposte con bizzarre combinazioni, secondo uno ovvero un altro disegno, come vedesi nella maggior parte de' nostri tempii; talora anche in piccioli pezzi di 15 in 20 millimetri di lato, che formano un'opera minutissima, siccome si osserva negli avanzi d'alcuni antichi pavimenti presso le così dette *sette sale*, formati di piccoli frammenti di lava basaltina dell'anzidette dimensioni superficiali, e di profondità poco maggiore di tre centimetri. I pavimenti laterizi sono composti di mattoni quadrati ovvero rettangolari, collocati in piano, ed anche talvolta di mattoni rettangolari, posati in taglio, o sia in costa, e disposti in quel modo che vedesi rappresentato nella fig. 279; da che questa sorta di pavimenti dicevansi dagli antichi *spicati* o *a spica*, e dai moderni sono comunemente chiamati *a spina*. Vitruvio dava ad essi l'aggiunto di *tiburtini* (2). I pavimenti laterizi, che diconsi comunemente ammattonati, possono costruirsi di mattoni di qualsivoglia grandezza: ma per lo più alle figuline se ne apparecchiano a quest'uso con apposite dimensioni. Per la costruzione de' pavimenti a spica adoperavansi dai romani de' mattoncini fatti a bella posta, larghi circa m. 0,150, larghi m. 0,075, e grossi m. 0,037; e talvolta anche più piccoli, come può vedersi in molti avanzi d'antichi pavimenti, all'anfiteatro Flavio, alla villa Adriana di Tivoli, ed altrove.

§. 701. La solidità de' pavimenti dipende principalmente da quella del letto sul quale vengono assettati. Se il pavimento dev'essere costrutto a piana terra, conviene accertarsi se il suolo sia di stabile consistenza;

(1) Lib. VII cap. III.
(2) Lib. VII cap. I.

e quando si riconosca di natura cedevole è d'uopo di assolidarlo battendolo (§. 572). Quindi conguagliato a livello il piano, vi si stenderà un suolo di muramento, composto di sassi grossi non meno della capacità d'una mano, e su questo primo suolo, cui gli antichi davano il nome di *statumen*, se ne formerà un altro composto di sassi più minuti, dagli antichi chiamato *rudus*. A questo secondo strato si addosserà il pavimento. I due prefati suoli, componenti il letto, avranno insieme l'altezza di circa m. 0,30, la quale però si dovrà ridurre ai tre quarti a forza di battere l'ammasso.

Che se il pavimento abbia a giacere sopra un solaio, converrà prima di tutto coprire la superficie di questo con uno strato di felce secca, o di paglia a fine di guarentire il legname sottoposto dall'azione caustica della calcina. Si formeranno quindi lo *statume* ed il *rudo* come si è detto di sopra; ed a questi due strati se ne sovrapporrà un terzo, cui secondo l'antica denominazione chiameremo *nucleo*, dell'altezza di circa m. 0,15; composto d'una parte di calcina, e due di cocci triturati. Sopra il nucleo si distenderà il pavimento. Qualora questo pavimento dovesse trovarsi allo scoperto, la sua superficie non si stabilirà a livello ma in pendio, affinchè le acque abbiano pronto scolo per mezzo d'opportuni sfogatoi; e questo pendio basterà che sia del 2 per 100 circa.

§. 702. Dipende altresì la perfezione de' pavimenti dall'esatta connessione, e giacitura delle lastre lapidee, o laterizie di cui sono composti. Importa perciò che le prime abbiano le coste tagliate e spianate squisitamente, in modo che ne resti assicurato il perfetto vicendevole contatto; e che i mattoni sieno per lo stesso fine ben rotati all'intorno. La giacitura regolare si ottiene accomodando e verificando la posizione delle lastre e de' mattoni con la riga e con l'archipendolo. Tanto le lastre quanto i mattoni vanno murati con malta di buona presa; e trattandosi di pavimenti scoperti sarà assai opportuno l'uso d'una malta idraulica. Ed affinchè in tal caso la malta nell'esterno delle commessure non abbia a patire pe' geli dell'invernale stagione, sarà ben fatto di spalmare ogn'anno prima dell'inverno tutte le commessure con una mano di morchia. Si usa anche talvolta di chiudere esternamente le commessure colandovi del piombo liquefatto, ovvero qualche mastice. Gioveranno anche coteste esterne stuccature ad impedire che l'acqua s'insinui per le giunture, e ne penetri l'umidità a nuocere al legname del sottoposto solaio. Ma per metter in salvo dall'umidità i solai e le volte sottoposte, il più sicuro espediente si è quello di frappore al rudo ed al nucleo un corso di grandi mattoni quadrati, quali usavansi dagli antichi di circa m. 0,60 di lato, innestandone vicendevolmente i lembi

intagliati a bella posta a incanalatura e linguetta, e unendoli con un mastice di calcina impastata con olio.

Tali erano le giudiziose pratiche degli antichi nella costruzione dei pavimenti, insegnateci da Vitruvio (1), e ripetuteci dai moderni maestri d' architettura; sebbene al presente non sieno sempre così scrupolosamente osservate dai costruttori, come sarebbe a desiderarsi.

La bellezza finalmente de' pavimenti consiste nella perfetta levigatezza superficiale del lastricato, o ammattonato, e dall'aggradevole combinazione delle figure, e de' colori delle pietre e de' mattoni. Ma è questo un oggetto spettante all' architettura decorativa.

§. 703. I pavimenti di smalto, che sono singolarmente in uso a Napoli ed' a Venezia, meriterebbero d'esser adottati per ogni dove, atteso la loro solidità e bellezza. Essi sono conosciuti a Napoli sotto il nome di *lastrici*, a Venezia sotto quello di *terrazzi*; e più generalmente per l'Italia vengono chiamati *battuti*. È tale la durezza e la fortezza del lastrico di Napoli, che i frammenti, che se ne ricavano nelle demolizioni o ne' diroccamenti di vecchie fabbriche, si lavorano egregiamente in lastre, ed in iscaglioni, da impiegarsi con ottima riuscita per varie occorrenze, come si farebbe d'una pietra naturale: con questo di più che il peso specifico di questa pietra fattizia non giunge mai a superare quello del legno di querce. Il lastrico è composto di calcina, e di quel prodotto vulcanico, che riceve volgarmente la denominazione di *lapillo*, ovvero anche corrottamente *rapillo*. Negli smalti o terrazzi veneti i frantumi di tegole e di mattoni prendono il luogo del lapillo. E siccome questa sostanza non è comune che nei territori vulcanici, mentre i cementi laterizi abbondano da per tutto, così il metodo veneto deve considerarsi come più adattato alla generalità de' luoghi; e quindi noi ci contenteremo di dare semplicemente un succinto ragguaglio del processo, con cui si costruiscono i terrazzi alla veneziana, i quali hanno cominciato ad introdursi anche in Roma, ed in altri luoghi d'Italia.

§. 704. Sul piano, che hassi a lastricare, si forma un primo suolo di smalto, composto di una parte di buona calcina scelta, e di tre parti di tritume di laterizi. L' impasto si stende tutt' ad un tratto all' altezza di circa m. 0,10 in tutta l'estensione dell' area del pavimento, e si conguaglia accuratamente con un rastello a punte di ferro. Si lascia quindi in quiete per uno o due giorni, a seconda che la stagione va più o meno asciutta; e dopo questo breve riposo si dà mano alla battitura, la quale

(1) Nel luogo testè citato.

si eseguisce con una battitoia di ferro lunga e dritta, leggermente convessa al di sotto, la quale si ripiega in un gomito, per poter essere comodamente impugnata e maneggiata. Si batte facendo in modo che la battitoia cada sempre con forza uguale, e sempre parallelamente a sè stessa da un capo al altro dell'area, su cui si opera; dopo di che si lascia lo smalto per un altro giorno in riposo. Passato questo si ripiglia la battitura come la prima volta, tenendo rivolta la battitoia normalmente alla direzione in cui fu da prima adoperata. Si vien così ripetendo a riprese la pigiatura, una volta per lungo ed una volta per traverso, lasciando sempre trascorrere un giorno fra una volta ed un'altra, finchè lo smalto abbia acquistato la debita consistenza; e di ciò si può esser sicuri quando si scorge che i colpi della battitoia non lasciano più veruna traccia sulla superficie battuta. Allora, fatto passare un altro giorno di riposo, sul primo suolo battuto se ne distende un secondo, alto circa m. 0,04, e formato d'un impasto di calcina spenta, e di polvere di mattone, in quantità presso a poco uguali; e questo si conguaglia con cazzuole fatte a bella posta lunghe, strette, e di manico più rilevato che nelle cucchiaie communi. Sulla superficie di questo secondo strato si spargono piccioli pezzi di lastre di marmo di vari colori, e quindi si fa scorrere un rullo, vale a dire un cilindro di pietra lungo m. 0,80, ed avente il diametro di m. 0,11, il quale comprime la materia, e fa che vi penetrino i detti frammenti di marmo. Quindi si mette mano di bel nuovo alla battitoia, e si replica la pigiatura come già sul primo strato, avvertendo che le percosse sieno meno gagliarde, e che gl'intervalli di riposo fra una battitura ed un'altra sieno non di un solo giorno, ma di due: e tanto si replica finchè i pezzetti di marmo sieno perfettamente internati nello smalto, e coperti da quel poltiglio più fino, che corre alla superficie. Ridotte le cose a questo punto si lascia stare il battuto senza toccarlo per dieci o dodici giorni, passati i quali è tempo d'intraprendere l'operazioni tendenti a lisciarne la superficie. Queste si eseguiscono con orsi di pietra arenaria a lungo manico inclinato, che si fanno scorrere sulla superficie del battuto, spargendovi intanto della polvere di pietra pomice. Da principio si adopera un orso di arenaria ruvida, e quindi mano a mano subentra l'uso d'orsi più fini. A togliere poi qualunque irregolarità di piccioli solchi e cavità, che potessero rimanere alla superficie del battuto, vi si versa una colla finissima composta di calcina spenta e di qualche terra colorata, sulla quale si fa passare un orso di pietra tenera, e ben levigata. Per ultimo si lustra il battuto con una cazzuola forbitissima, ed alquanto convessa nella parte di sotto; e quindi si spalma la superficie con due o tre mani d'olio di lino ben caldo, il quale ne accresce la bellezza, e la consistenza. L'arte di

costruire i battuti è stata raffinata a segno, che se ne dipinge la superficie con vaghi scompartimenti a vari colori, con meandri, ed altre maniere d'ornamenti; onde ne risultano dei pavimenti della più squisita eleganza, e non disdicevoli a qualsivoglia magnifica abitazione.

§. 705. Costumavasi anticamente dai greci nelle stanze terrene, destinate per l'inverno, una specie di battuti, vantata non per la bellezza, ma per alcune utili prerogative, che in molti casi potrebbero anche ora renderne conveniente l'uso. Vitruvio ne dà succintamente ragguaglio in questi termini (1) „ Si scava, dic'egli, sotto il piano del triclinio alla profondità di due piedi (m. 0,60 circa), e condensato il terreno col mazzapicchio, vi si adatta o un suolo di smalto ordinario, ovvero un pavimento laterizio, alto in mezzo, e declive verso i lati, in guisa che tutta la superficie penda verso un canaletto, avente gli opportuni sbocchi, praticato tutt'all'intorno. Quindi formata una riempitura di carbone ben battuto, vi si distende sopra uno smalto composto di calcina, di sabbia e di polvere di carbone, che formino uno strato alto mezzo piede, tirato a livello con la riga, e con l'archipendolo: e forbitane la superficie con un orso di pietra, ne risulta un pavimento nero „ I vantaggi di tali pavimenti consistevano nella facoltà d'assorbire prontamente i liquidi, e perciò di mantenersi sempre asciutti; e nella tepidezza costante della loro superficie, per la quale anche nell'inverno niuna molestia di freddo cagionavano, ancorchè vi si caminasse sopra a piedi scalzi.

## CAPO X.

### *Della conservazione delle fabbriche.*

§. 706. L'accuratezza della costruzione, in tutti quegli articoli che abbiamo fin qui distintamente considerati, assicura sotto ogni riguardo la stabilità, e la durevolezza delle fabbriche: come all'opposto il non esatto adempimento dei canoni statici, e delle regole edificatorie, espone gli edifici a più o meno solleciti risentimenti, ne mette in forse la stabilità, e ne abbrevia la durata. Per altro anche l'originaria buona costituzione d'una fabbrica può venir meno col tempo pel potere di varie cause naturali, capaci o d'alterare lentamente i materiali, distruggendone a poco a poco il vigore, ovvero di slocare e di squarciare violentemente le masse, turbandone individualmente lo stato, e annullando

(1) Lib. VII cap. IV.

quel vincolo, per cui vicendevolmente si sostengono. Importa dunque che qualsivoglia fabbrica, oltre all'esser costrutta in conformità delle discipline statiche, e delle buone regole dell'arte, sia anche premunita coi più validi mezzi contro la forza delle prefate cause offensivè. È questa la prima massima ed il principale provvedimento ad assicurare la lunga conservazione d'ogni sorta d'edifici. Ma tutte le cure primordiali potrebbero divenire infruttuose, qualora non si vigilasse di poi assiduamente, a vedere se qualche sconcerto con l'andar del tempo apparisse nella fabbrica, prodotto sia da originari vizi di costruzione, sia dall'irresistibil possa d'alcuna delle anzidette cause; o non si accorresse prontamente a rimediarvi con opportuni ripari. Ci applicheremo ora dunque ad indicare quali siano i temperamenti opportuni ad eludere l'azione di quelle cause, che possono contribuire in un modo o in un altro a turbare la stabile e durevole costituzione degli edifici; e quindi brevemente accenneremo come debbasi rimediare a quegli sconcerti, che per qualsivoglia cagione potessero accadere in un edificio con più o meno detrimento della sua stabilità, e con meno o più remoto pericolo di rovina.

§. 707. Le cause naturali, che agiscono contro la stabilità dei muri e delle fabbriche, altre, come già dicemmo, sono di lenta efficacia, quali sono l'umidità, i principii salsi dell'atmosfera, ed il gelo: altre sono violente e repentine ne' loro effetti, e sono gl'incendi, i terremoti, gli uragani, i fulmini. Le prime attaccano insensibilmente la sostanza dei materiali, l'alterano, la snervano, e la convertono finalmente in polvere; le seconde urtano ed agitano impetuosamente le masse, le dislocano, le sconnettono, e giungono perfino talora a sconvolgerle. Veggiamo distintamente quali siano le difese adattate contro le cause dell'una, e dell'altra classe.

§. 708. Contro i geli e contro la salsedine dell'aria l'arte non ha mezzi opportuni per difendere i muri, quando i materiali componenti sono di loro natura soggetti a provare i tristi effetti di coteste cause. Che però a preservar gli edifici dai pregiudizi, che queste arrecano ai muri, non resta che di esser cauti nella scelta de' materiali, evitando d'impiegarne, specialmente nelle parti più prossime alla superficie esterna delle muraglie, di quelli che si conoscono inabili a non provar la maligna influenza di tali cause nei luoghi da esse dominati. Altrettanto può dirsi ancora relativamente all'umidità. Tuttavia in alcuni luoghi è la necessità, che costringe a far uso di pietre o di malte disposte ad esser alterate dall'umidità, ove non possano ottenersi senza eccessivo dispendio materiali migliori. In tal caso dalle piogge, e dall'umidità atmosferica, fanno bastante schermo ai muri gl'intonachi, ed i

coperti superiori. Ma contro l'umidità terrestre, ne' luoghi bassi ed acquidosi, l'unica difesa consiste in qualche riparo, che valga ad impedire che l'acqua arrivi ad inzuppare i muri, ascendendo pei meati capillari dei muri medesimi. Sappiamo che nei paesi marittimi dell'America settentrionale si sogliono a tal effetto cuoprire i muri, quanto sono larghi, allorchè son giunti all'altezza di m. 0,65 al più da terra, con piastre di piombo, sulle quali si continua di poi a fabbricare (1). Questo metodo è stato anche proposto non ha guari nella Germania (2), e nel dubbio che le lamine di piombo possano ossidarsi, malgrado che sono riguardate dall'aria, si è suggerito di adoperare in vece d'esse lamine uno strato di polvere di carbone impastato con qualche materia resinosa. Ma già prima i chimici francesi d'Arcet, e Thenard avevano concepito la possibilità di salvare qualunque muro ed intonaco dall'offesa dell'umidità, facendo inzuppare le pietre e gli smalti d'un mastice liquefatto al fuoco, il quale insinuandosi ne' pori, e quivi congelandosi ed assolidandosi, precluderebbe così ogni adito all'umidità; ed avevano sperimentato l'efficacia di tal espediente a Parigi nelle pareti di due sale alla Sorbona, estremamente basse ed infette dall'umidità, e nella superficie interna della cupola superiore di santa Genueffa, all'occasione che questa doveva essere dipinta dal pennello di Gros. In questo caso si valsero essi d'un mastice composto di tre parti d'olio di lino cotto, con un decimo del suo peso di litargirio, e di una parte di cora. Nel primo adoperarono un mastice fatto di due parti di resina, e d'una parte d'olio cotto, parimenti con un decimo di litargirio. Quest'ultima composizione giudicarono essi adattata a garantire dall'umidità i lastricati, e gli ammattonati nelle stanze terrene (3): nè forse sarebbe vano il presumere che divenisse efficace a preservare dall'umido anche le muraglie, quando si volesse usar l'artifizio d'apparecchiare con sì fatta, o con altra simil concia resinosa, i materiali da impiegarsi nella costruzione dell'infime parti dei muri, ne' luoghi bassi ed umidi.

§. 709. La violenza dei terremoti e degli uragani non ammette difese. Si può solo consigliare che nei luoghi, ove son più frequenti coteste naturali violenze, siasi guardinghi d'innalzare eccessivamente le fabbriche, e stiasi più che si può lontani dall'uso delle volte. Del primo suggerimento non è mestieri di dar ragione: il secondo deriva dal riflettere che ove fra i muri verticali di una fabbrica la divisione dei

---

(1) *Bulletin des sciences technologiques*. Tom. III n. 132.
(2) V. *lo stesso giornale*. Tom. VIII n. 22.
(3) *Annales de chimie et de phisique*. Marzo 1826 pag. 24.

piani sia fatta per mezzo di volte, nell'oscillazione che concepiscono i primi per lo scuotimento della terra o dell'atmosfera, è quasi inevitabile che le seconde per la loro rigidezza si squarcino e si sconvolgano; mentre se la divisione dei piani consiste in solai di legname, questi per l'elasticità della materia son disposti a secondar fino ad un certo segno le masse dei muri laterali, e quindi è minore il pericolo di sconcerti e rovine. Ma dal furor micidiale delle folgori niun danno è oggimai più da temersi nelle fabbriche, da che Beniamino Franklin con la famosa invenzione de' parafulmini ha accresciute le glorie della fisica, e si è reso benemerito all'umanità. E poichè l'efficacia de' parafulmini è ora così comprovata, che sarebbe una vera insania il dubitarne; e poichè se ne va tutto dì confermando l'importanza e generalizzando l'uso, ci sembra che la pratica costruzione di essi possa considerarsi come divenuta di pertinenza dell'architettura: laonde stimiamo pregio dell'opera di ricordare succintamente agli studiosi, già versati nelle fisiche dottrine, il metodo, e le principali regole ed avvertenze, a cui fa d'uopo attenersi nella costruttura e nella disposizione de' conduttori frankliniani, a renderne sicuro l'effetto per la salvezza degli edifici.

§. 710. In uno de' punti più elevati sulla sommità dell'edificio si stabilisca un piedestallo o torrino di pietra, ovvero di muro, e su di questo s'innalzi una spranga verticale di ferro, lunga da quattro a sei metri inferiormente, per due terzi della sua lunghezza, cilindrica, col diametro di tre o quattro centimetri; superiormente, per la terza parte residuale della sua longitudine, di forma conica. La parte conica abbia presso il vertice la superficie dorata, ovvero rivestita di una sottile lamina d'oro. Meglio però se la punta conica della spranga sarà di rame dorato a mercurio; e meglio ancora se sarà di semplice platino massiccio, come più recentemente si è sperimentato; atteso la più debole disposizione di quest'ultimo metallo ad ossidarsi. Tutto il resto della superficie della spranga si spalmi di vernice nera ad olio, onde preservarla dalla ruggine. Attorno la base della parte conica si aggiri un labbro sporgente, dal quale si partano quattro fili di ferro, i quali vadano ad allacciarsi ai quattro angoli della sommità del torrino, e tengano così ferma la spranga nella positura verticale. Presso l'estremità inferiore della spranga si saldi una verga o grosso filo di ferro, o piuttosto di rame del diametro di dieci millimetri almeno, e questa si estenda verso terra più direttamente che sia possibile, lungo il più prossimo dei muri dell'edificio, sino alla distanza di tre o quattro metri da terra. Ivi, acciò che sia più riguardata, s'introduce in un tubo o condotto verticale praticato nella grossezza del muro, e foderato di latta; e si fa così arrivare fino a due o tre metri sotterra. A tale profondità si estrae dal corpo della muraglia, tenendola però tuttora chiusa nel tubo di latta, e si porta con una direzione inclinata alla verticale di 30 in 40 gradi, per

tre o quattro altri metri, a far capo nel fondo d'un pozzo o d'altro qualunque recipiente d'acqua, ovvero in un ammasso di circa un metro cubo di carbone, appositamente sepolto all'anzidetta profondità. Tali sono la struttura e la disposizione del conduttore. Le avvertenze che siamo per aggiungere tendono ad assicurarne il pieno e regolare effetto.

1. La verga conduttrice sia diretta dall'alto al basso senza che faccia gomiti risentiti; ma ove sia indispensabile di torcerne la direzione, si faccia per mezzo di svolte dolcemente incurvate.

2. La medesima verga conduttrice sia non interrotta, senza sfogliature, o altre imperfezioni; e sia posta in comunicazione per mezzo di fili di ferro, del diametro di circa 8 millimetri, con tutti i corpi metallici, ai quali passa da vicino.

3. Non s'innalzi la spranga acuminata, se prima non è stata pienamente sistemata la verga conduttrice, onde i fulmini non sieno richiamati, prima che sia pronto il veicolo per l'innocuo disperdimento del fluido elettrico.

4. I conduttori sieno in tal numero, e talmente distribuiti, che le scambievoli distanze delle spranghe non siano maggiori di m. 20; essendosi riconosciuto che l'attività di una spranga non si estende oltre una sfera avente 10 metri circa di raggio.

L'istruzione venuta in luce in Francia per cura della regia Accademia delle scienze, riprodotta non ha guari in Italia, con l'aggiunta di non poche utili avvertenze, per opera del Maiocchi (1), merita di essere nelle mani di tutti coloro, che per loro istituto possono trovarsi nel caso di dover innalzare dei conduttori franckliniani; rinvenendosi in questo libro, il più recente ed il più completo che siasi pubblicato su tal materia, diffusamente spiegate tutte quelle più minute norme, che possono desiderarsi in ordine al più sicuro modo di costruire e disporre i parafulmini, e ad ogni particolarità, che può contribuire a renderne certa e stabile l'efficacia.

§. 711. Fin ora abbiamo parlato di ciò che appartiene ai mezzi di preservare le fabbriche da risentimenti e sconcerti: resta che diciamo dei ripari, che a questi convengono, allorchè insufficienti o vane sono riuscite le cure impiegate a tenerli lontani. Le lesioni cui vanno soggetti i muri sono le fenditure, i distacchi, gli strapiombi, il decadimento del materiale. Fenditure, diconsi quelle disgiunzioni trasversali, che avvengono nelle masse murali, con andamento verticale ovvero obliquo. Esse derivano o da parziali ed irregolari cedimenti delle fondamenta, o dal non contemporaneo e non uniforme assettamento delle

(1) *Istruzione teorica e pratica sui parafulmini* - Milano 1826.

varie parti, o dalla fiacchezza della massa a confronto di qualche spinta, da cui sia lateralmente stimolata, ovvero dalla violenza di qualche straordinario scuotimento. Chiamansi distacchi quelle disgiunzioni, a un di presso verticali, che succedono in qualche massa murale nel senso della lunghezza; e provengono da qualche impulso momentaneo, o da qualche lento cedimento, in quelle parti, ove nella costruzione siasi trascurato d'incatenare o intrecciare le pietre, come prescrivono le buone regole della struttura murale (§. 600, 603). Gli strapiombi sono quelle alterazioni di posizione, per cui l'intera massa s'inclina o da una parte o dall'altra: e questi possono procedere da tutte quelle medesime cagioni, che generano le fenditure. Finalmente il decadimento de' materiali consiste nello snervamento, e nella dissoluzione della materia, di cui possono esser causa un'eccessiva pressione, il fuoco, i geli, ovvero l'umidità. Al manifestarsi di così fatte lesioni importa prima di tutto d'indagare se derivino da una causa accidentale e passeggera, ovvero da qualche cagione essenziale e permanente. Se la lesione dopo il primo parosismo non fa consecutivi progressi, è segno che la causa è stata meramente transitoria, ed altro non occorre che di applicare al danno l'opportuno rimedio locale: vale a dire che le fenditure e i distacchi si dovranno chiudere murandoli con tutta l'accuratezza; gli strapiombi si dovranno correggere ripigliando dal basso all'alto il muro, che è quanto dire riportandovi da quella parte, verso cui si è inclinato, una fodera ben fatta, che ridoni alla massa la perduta verticalità; finalmente, trattandosi di decadimenti parziali del materiale, basterà di demolire e di rinnovare tutte quelle parti, alle quali si estende il danno.

§. 712. Ma se si conosce che lo sconcerto va più o meno progredendo, se ne inferisca che la sua cagione è permanente: ed allora non sono sufficenti le locali riparazioni, ma è d'uopo insieme di frenare la causa, affinchè il male non si rinnovelli, e non si accresca. Nell'arte si adoperano facili espedienti, per aver modo di giudicare con sicurezza se le fenditure e gli strapiombi vadano di mano in mano avanzando. Le prime, quando vogliono tenersi in osservazione, si chiudono provvisionalmente con malta di gesso, la quale com'è noto (§. 528) invece di ritirarsi si dilata seccandosi, e si sta in guardia a vedere se coll'andar del tempo quest'inzeppatura si distacchi dagli orli della crepaccia; poichè in questo caso si dovrà arguire che la fenditura si è allargata, e che la cagione del danno non è cessata; e viceversa in caso contrario. Ma il modo più decisivo ne' casi di maggior conseguenza si è quello di saldare per traverso nella fenditura de' tasselli di pietra a doppia coda di rondine, che chiamansi *biffe*, come vedesi nella fig. 283; poichè se una poderosa causa tenderà ad aprir maggiormente la fenditura, ciò non

potrà accadere senza che o si strappi il tassello, ovvero si squarci il muro lateralmente ad esso da una parte o dall'altra. Tal è l'espediente che si è impiegato nelle lesioni della gran cupola di s. Pietro in Vaticano. Per poter accorgersi dei progressi degli strapiombi, oltre le verificazioni che possono farsi di tempo in tempo col piombino, e con l'archipendolo, si possono fissare stabilmente dei fili a piombo, ovvero dell'aste graduate, che diconsi *registri*, in un modo o in un altro adattate a far conoscere anche le più piccole mosse, che successivamente potrà fare il muro. Le cagioni permanenti delle fessure e degli strapiombi sono o la debolezza del fondamento, ovvero l'incapacità di qualche massa a resistere ad una spinta, cui sia contrapposta. L'attento esame della fabbrica, la natura e le varie affezioni dei movimenti in essa accaduti, somministrano generalmente il modo di conoscere a quale delle nominate due cause debba imputarsi l'avvenimento, e il progresso delle lesioni: ma è questo un giudizio che difficilmente potrebbe soggettarsi a regole generali, e che rimane onninamente appoggiato al senno ed all'espertezza degli architetti. Ove il difetto sia nelle fondamenta, si potrà indurre con accorti raziocini dalla situazione e dalla direzione delle fessure in qual parte risieda la causa degli accennati sconcerti.

Conosciuta la causa ovvi sono i rimedi; poichè se il male sta nei fondamenti, non si avrà che ad aprire un cavo intorno alla base del muro, ove il bisogno si manifesta, e a rinforzare la fondazione ampliandola, e profondandola maggiormente, a tenore dell'indole del fondo, e della qualità dell'edificio, e se il difetto sarà nella fiacchezza delle masse, che debbono resistere a qualche spinta, sarà d'uopo d'ingrossarle a modo che si rendano valide ad esercitare la richiesta resistenza. Per l'esecuzione effettiva di tutte queste riparazioni, tendenti o semplicemente ad emendare le lesioni, ovvero a reprimere anche le cagioni, che l'hanno prodotte, e che potrebbero rinnovarle ad accrescerle, valgono tutte quelle stesse regole che furono insegnate in ordine alla struttura murale (Cap. VI). Ed intanto che si differiscono, o che si stanno eseguendo le riparazioni, la sicurezza dell'edificio esige che si sostengano le parti, che si sono rilasciate o indebolite, per mezzo di ben intese puntellature; le quali valgano ad impedire l'avanzamento dei danni, e l'accessione di nuovi più gravi sconcerti, finchè la fabbrica sia ritornata ad un sistema, per cui non sia più a temersi della sua stabilità. Su di che non abbiamo nulla da aggiungere a quanto avvertimmo già a tale proposito nel precedente libro (§. 427).

§. 713. Abbiamo fin qui ragionato nel decorso di questo libro delle costruzioni murali in generale; ed abbiamo studiosamente cercato di raccogliere tutte quelle cognizioni, e di addurre tutte quelle regole, e

quell'avvertenze, che sono necessarie per la buona esecuzione, e per la perfetta riuscita di questa sorta di lavori. I pochi capitoli che verranno in appresso son riserbati a trattare d'alcune specie d'edifici, che possono riguardarsi come d'assoluta pertinenza dell'architettura idraulica, e presentando straordinarie difficoltà di costruzione, ed esigendo più studiate condizioni di stabilità, meritano d'essere più particolarmente esaminate: tanto più che gli autori italiani d'architettura poco o nulla ne fanno parola; e gl'idraulici sogliono limitarsi a considerarle soltanto relativamente ai vari fini cui son destinate, e agli effetti che possono produrre nell'acque correnti. Ci fermeremo da prima a parlare de' ponti d'opera murale; quindi passeremo a considerare i sostegni, specie d'edifici di cui è grande, e frequentissima l'importanza ne' canali navigabili; daremo in terzo luogo alcune essenziali nozioni intorno a varie altre specie di costruzioni murali, inservienti alla condotta o al regolamento dell'acque; per ultimo aggiungeremo alcuni cenni elementari in ordine alle costruzioni marittime.

---

## SEZIONE SECONDA

D' ALCUNE COSTRUZIONI MURALI, CHE PIU STRETTAMENTE APPARTENGONO ALL' ARCHITETTURA IDRAULICA.

### CAPO XI.

*De' ponti di struttura murale.*

§. 714. È comunemente noto che la conformazione di un ponte d'opera murale consiste in una serie d' arcate (§. 647), sostenute da un corrispondente numero di piedritti, dei quali gli estremi aderenti alla sponda del fiume diconsi *coscie*, *testate*, o più propriamente *spalle* del ponte, l'intermedie sorgenti dal fondo dell'alveo chiamansi *pile*. Sopra coteste arcate esiste la continuazione della strada, di cui il ponte fa parte: sotto di esse, pei vani che rimangano fra le pile, hanno corso le acque del fiume. Da tre condizioni essenziali, dipende la buona costituzione d'un ponte, cioè, 1.° il comodo della strada, 2.° una disposizione conforme al buon regime del fiume, 3.° la solidità della fabbrica in sè medesima. E siccome sono gli stessi elementi che influiscono sull' adempimento di queste tre distinte condizioni; cioè l' ordinamento, e le grandezze delle varie parti dell'edificio; e questi elementi dipendono essenzialmente essi pure l' uno dall' altro: così invece d'applicarci direttamente ad esaminare l' una dopo l' altra le prefate condizioni, sarà più opportuno di vedere di mano in mano i vari rapporti, sotto i quali ne va curato il soddisfacimento, nel determinare a parte a parte la disposizione, le forme, e le dimensioni delle parti principali, e delle parti accessorie d' un ponte. Accade poi naturalmente di esser indotti a considerare 1.° la collocazione, e le dimensioni, diremo così cardinali dell' edificio, 2.° l' arcate, 3.° le pile, 4.° finalmente le varie parti accessorie del ponte.

Generalmente si deve procurare che la direzione del ponte sia perpendicolare a quella del fiume. Alcune volte per altro a questa condizione si oppone l' andamento immutabile della strada già esistente, ovvero la natura delle sponde, che in alcuni ponti possono essere inaccessibili, singolarmente ove i torrenti scendono fra i monti. In simili casi non si avrà scrupolo di collocare il ponte obliquamente al corso del fiume: ma sono appunto questi i casi ne' quali importa di far sì, che le facce laterali delle pile secondino il corso dell' acqua, e sieno perciò oblique all' andamento del ponte; d' onde poi nascono le arcate in isbieco,

siccome altra volta abbiamo avvertito (§. 615). Diversamente l' acqua incontrando obliquamente i fianchi delle pile, sarebbe costretta a piegare il suo corso come per una risvolta, il che potrebbe essere causa di dannose mutazioni nel regime del fiume, tanto superiormente quanto inferiormente al ponte; e lo stesso urto obliquo della corrente, e de' corpi da essa trasportati contro i fianchi delle pile, sarebbe una cagione di più contro la stabilità dell' edificio.

§. 715. Intorno alla collocazione dei ponti può bastare quanto abbiamo già detto nel precedente libro, là dove si tenne proposito de' ponti di legname (§. 312). Fu ivi accennato eziandio entro quali limiti abbia ad essere determinata la larghezza di un ponte, affinchè comodo ne sia il tragitto alle vetture (§. 314). La lunghezza viene ad essere essenzialmente determinata, allorchè è fissata la situazione del ponte, corrispondendo essa alla distanza che passa fra l' una e l' altra sponda del fiume nel sito destinato. Finalmente l'altezza dell'edificio vien determinata da quella dei due capi della strada, che terminano alle due sponde, i quali debbono per necessaria legge di comodo, e di preservazione elevarsi oltre il livello delle massime piene del fiume. Alcune volte però quell' altezza, che basterebbe ad esentare la strada dall' inondazioni anche nelle più grosse fiumane, non è sufficiente pel ponte, relativamente al bisogno di costruire l' arcate a modo tale, che non impediscano dannosamente il corso dell' acqua nell' escrescenza del fiume. In simili casi l' altezza del ponte si deduce, come per corollario, dall' altre dimensioni dell' edificio, da determinarsi secondo le norme che verremo esponendo; e conviene allora che i tronchi laterali della strada, che accedono al ponte, servendo alla circostanza, s' innalzino quanto abbisogna per essere portati all' altezza del ponte, formando due discese, una per parte, protratte quanto è d' uopo affinchè la pendenza longitudinale di esse non oltrepassi i noti limiti della comodità del cammino (§. 86).

§. 716. Un oggetto di primaria importanza si è quello di determinare la larghezza della luce del ponte, vale a dire dello spazio libero che è necessario di lasciar sotto di esso, acciò che la corrente in qualunque stato, e segnatamente nelle sue maggiori turgidezze, possa per essa trovare uno sfogo regolare, vale a dire incapace di ledere la solidità dell' edificio, e non contrario al buon regime del fiume nel tronco superiore.

È noto nella scienza idrometrica (1), che ove la sezione di un

---

(1) Venturoli — Vol. II lib. II cap. XXXVIII.

fiume venga ristretta per qualsivoglia ostacolo, ivi necessariamente crescono l'altezza e la velocità dell'acqua; talmente che se dicasi $L$ la larghezza, $y$ l'altezza di una sezione libera, ed $s$ l'altezza dovuta alla velocità del corso dell'acqua per essa sezione, e sia $l$ la larghezza $k+h$ l'altezza della sezione impedita, essendo $k$ la parte inferiore, ed $h$ la parte superiore al pelo naturale della corrente, correrà l'acqua per questa sezione nella parte inferiore $k$ con velocità dovuta all'altezza $s+h$, e nella parte superiore $h$ con velocità dovuta all'altezza $s+\frac{4}{9}h$. Sarà dunque nella parte inferiore della sezione ristretta la velocità e nella parte superiore la velocità

$$u = \sqrt{2g}\sqrt{(S+h)},$$

$$u' = \sqrt{2g}\sqrt{[s+\frac{4}{9}h]}:$$

laonde la portata di essa sezione sarà

$$l\sqrt{2g}[k\sqrt{(s+h)}+h\sqrt{(s+\frac{4}{9}h)}].$$

E siccome questa portata deve mantenersi uguale a quella della sezione libera, che è $= Ly\sqrt{2gs}$, così nasce l'equazione.

$$(X) \quad \ldots \quad Ly\sqrt{s} = lk\sqrt{(s+h)} + lh\sqrt{[s+\frac{4}{9}h]}.$$

Di qui deve desumersi la ricerca della larghezza $l$ della luce del ponte, vale a dire della somma delle larghezze di tutti gli spazi interposti alle pile, affinchè l'incremento della velocità e dell'altezza succeda in essa entro un limite tale, per cui non iscapiti la sicurezza dell'edificio, e non si alteri superiormente lo stato del fiume in modo pregiudicevole all'adiacenti campagne. Importa per la sicurezza della fabbrica che la velocità non si aumenti a segno, che la corrente acquisti forza di sconvolgere il fondo, e di scalzare e minare le pile, che sono in esso piantate. L'osservazione dell'indole del fondo nella situazione del ponte, e l'attento esame degli effetti, che la corrente produce in altri punti del fiume con diversi gradi di velocità sopra materie della stessa o di consimile natura, daranno campo di stabilire quale sia il massimo valore di $u$, e conseguentemente il massimo valore di $h$, compatibile con la resistenza del fondo. E sarà questo uno dei limiti, al disotto del quale dovrà esser fissato il valore di $h$. Da un altro lato è da cercarsi che l'alzamento $h$ non faccia salir di soverchio le acque del

fiume nel tratto superiore, a cui si estende il rigurgito, in gnisa che si possa temere che le campagne adiacenti abbiano a divenir soggette all'inondazioni; ovvero che se ne abbia a rendere lento ed infelice lo scolo. Quindi facilmente si vede come da questo riguardo, dipendentemente dalla costituzione dell'alveo superiore per tutta l'estensione del rigurgito, dall'elevatezza dei terreni circostanti, e dalle condizioni degli scoli o altri corsi d'acqua influenti, si potrà dedurre un secondo limite, oltra il quale l'aumento $h$ dell'altezza dell'acqua nella sezione impedita, ed il corrispondente rigurgito, non potrebbero accadere senza qualche pregiudizio diretto o indiretto del paese superiore. Si dovrà dunque per prima cosa assegnare ad $h$ un valore che sia inferiore all'uno ed all'altro degli anzidetti limiti; vale a dire al minore di essi. Talvolta però il fondo del fiume è di materia così solida, che si riconosce incapace di ricevere verun'offesa dalla forza della corrente, ancorchè questa di molto dovesse accrescersi; ed allora il valore di $h$ non è più d'uopo che dipenda da altro limite, che dal secondo. E se, come pur succede altre volte, si conoscesse che niuno de' menzionati pregiudizi superiormente potrebbe temersi nelle campagne, per molto che si elevasse il pelo dell'acqua nella sezione ristretta dal ponte, ed in tutto il tratto per cui si diffonde il rigurgito, basterebbe di attenersi soltanto al primo de'sopraddetti limiti. Assegnato così ad $h$ un opportuno valore, servirà l'equazione (X) a determinare quello di $l$, vale a dire la larghezza della luce, ch'è d'uopo rimanga sotto il ponte pel libero ed innocuo corso dell'acqua. Deesi per altro avvertire, che, nel fissare il valore di $h$, dannoso anzichè utile sarebbe di tenersi molto al di sotto del più piccolo de'due preindicati limiti, poichè si verrebbe oltre il bisogno a diminuir di soverchio la velocità del fiume sotto le luci del ponte, ed in tal caso si correrebbe rischio che sotto taluna dell'arcate si generassero degl'interrimenti, e che questi acquistando col tempo consistenza bastevole per resistere all'azione della corrente, ed obbligando le piene a rivolgersi con maggior corso per l'altre luci non interrite, fossero cagione che il fondo venisse quivi a sconvolgersi attorno e sotto le basi delle pile. (1)

La larghezza libera della sezione ristretta dal ponte, determinata come abbiam detto per mezzo dell'equazione (X), dovrà poi essere opportunamente aumentata a riguardo della contrazione, cui l'acqua va soggetta nell'uscire da cotesta sezione, o dalle diverse luci che la compongono (2): senza di che non potrebbero corrispondere al vero i supposti valori di $u$, e di $h$, ma in effetto si aumenterebbero quanto fosse

---

(1) Gauthey — *Construction des ponts* — lib. II cap I sez. II.
(2) Venturoli — Nel luogo precitato §. 359.

necessario all'uopo di compensare la contrazione, e di mantenere, ad onta di questa, costante il valore della portata. La vera larghezza libera, che abbisognerà sotto il ponte, non sarà dunque il trovato valore di $l$, ma sarà bensì $= m l$, essendo $m$ un coefficente costante maggiore dell'unità; da determinarsi dipendentemente dalla contrazione, che l'acqua soffre nello sbucar di sotto il ponte. Una tal determinazione sarebbe assai malagevole ed incerta; onde convien contentarsi di desumere approssimativamente il valore di $m$ dai risultati di qualche sperienza. Ne abbiamo fortunatamente alcune tentate dal Dubuat (1), applicabili al caso di cui si tratta, delle quali possiamo opportunamente giovarci. In conformità di tali sperienze il valore di $m$ sarebbe compreso fra 1,066, ed 1,097; ma ben si vede che per la sicurezza dell'effetto, cui si desidera, converrà di attenersi al massimo de' risultati, facendo $m = 1,097$, ossia prossimamente $m = 1,1$. Vale a dire che la larghezza $l$, trovata mediante l'equazione $(X)$, dovrà, a riguardo della contrazione del fluido, essere aumentata di un decimo.

§. 717. Per procedere secondo le norme ora accennate alla ricerca della larghezza libera, che abbisogna sotto il ponte, è d'uopo di conoscere preventivamente gli elementi $k$, $L$, $y$, ed $s$. I primi tre si possono sempre ottenere per mezzo di accurate misure ed osservazioni. Ma l'altezza $s$ è più malagevole a determinarsi, essendo note le difficoltà e l'incertezze che s'incontrano così nella pratica esplorazione, come nelle teoretiche induzioni, tendenti alla determinazione della velocità media nell'acque correnti, e di tutti quegli elementi che da essa dipendono Egli è poi chiaro che queste preliminari determinazioni vogliono esser fatte relativamente alle massime escrescenze del fiume.

Con due diversi metodi si può procedere alla determinazione dell'elemento $s$; uno meteorologico, l'altro idrometrico. Il primo metodo consiste nel calcolare la portata del fiume in piena, dipendentemente dall'acque che possono supporsi accumulate in tutta l'estensione del suo alveo dall'origine fino al punto in cui vuol collocarsi il ponte, scaricatevi dalle tributarie campagne nelle più generali e più copiose piogge; e dal tempo che in effetto si è riconosciuto necessario affinchè il detto tronco di fiume smaltisca la sua massima piena. Sia $S$ l'estensione superficiale di tutto il paese tributario, ed $a$ l'altezza, a cui giusta l'osservazioni meteorologiche si possa stimare che si eleverebbe l'acqua su tale superficie, in un breve intervallo di dirottissima pioggia, quando

(1) *Principes d'hydraulique* — Tomo I pag. 15.

tutta si supponesse fermarsi ove cade, senza scendere per la china; e pongasi che una parte $a'$ dell'altezza $a$ di tal massa fluida venga assorbita dal terreno, e si disperda per sotterranei meati. È chiaro che sarà $S(a-a')$ il massimo volume dell'acque, che contemporaneamente potranno trovarsi raccolte nell'alveo del recipiente comune, in tutta l'anzidetta estensione, cioè dall'origine del fiume fino al posto del ponte. Ora supponendo che sia $t$ il tempo, che cotesto tratto di fiume suole impiegare pel completo scarico della massima sua piena, cioè per passare dallo stato di somma piena alla condizione sua ordinaria, assunto il minuto secondo per unità di tempo; e chiamando $Q$ la portata della massima piena: facilmente si scorge che sarà

$$Q=\frac{S(a-a')}{t}.$$

E siccome altronde per le note leggi dell'idraulia è $Q=Ly\sqrt{2gs}$, così verrà

$$Ly\sqrt{2gs}=\frac{S(a-a')}{t}.$$

e quindi

$$Ly\sqrt{s}=\frac{S(a-a')}{t\sqrt{2g}},$$

ed

$$s=\frac{S^2(a-a')^2}{2gL^2t^2y^2}:$$

valore che si renderà noto, come pure quello della velocità media $U=\sqrt{2gs}$, sempre che sia nota la quantità $Ly$.

Così all'occasione del progetto del più volte ricordato nuovo ponte sul Taro, avendo calcolato il Cocconcelli (1) che la superficie di tutti i terreni tributari dal tronco del fiume, superiore al luogo destinato pel ponte, era di m. q. 1815000000, cioè $S=1815000000$; avendo

---

(1) *Descrizione dei progetti e de' lavori ec.* — pag. 8.

stabilito giusta i risultati dell'osservazioni meteorologiche i valori di $a$ e di $a'$ in misura metrica, cioè $a=0,220$, $a'=0,055$; e partendo dal dato che quel tronco di fiume smaltisca la sua massima piena in ore 24, onde $t=86400$: ne dedusse dover essere la portata del fiume al passo del ponte di m. c. 3466 per minuto secondo. Dal qual valore della portata, avendosi altronde $Ly=1510$, facilmente si ricavano i valori di $s$, e di $U$ appartenenti alla sezione libera di quel fiume nella preindicata situazione, cioè $s=$ m. 0,27, $U=$ m. 2,29 per minuto secondo.

Il metodo idrometrico per iscuoprire il valore di $V$ esige l'uso delle formole, che ne vengono apprestate dall' idraulica, per mezzo delle quali si rende nota la velocità media $V$ sia dipendentemente dall'area della sezione, e dalla pendenza del fiume, sia dalla velocità riscontrata alla superficie nel filone del fiume. Quando vogliasi ottenere la velocità media $V$, e quindi il corrispondente valore di $S$, mediante la pendenza e la sezione del fiume, cadrà in acconcio l' equazione del Prony, addotta dal Venturoli (1), per la quale si ha

$$U=0,072+\sqrt{(0,005+3233\,D\cos.\phi)},$$

esprimendo $D$ il raggio medio, o sia il rapporto dell' area della sezione alla parte bagnata del suo perimetro, e $\phi$ l' inclinazione del letto alla verticale. O piuttosto con maggior fiducia potrà approfittarsi della formola proposta da Eytelwein, ed illustrata dallo stesso Venturoli (2) col confronto anche d'alcune sperienze fatte ne' nostri fiumi, la quale dà

$$U=-0,03319+\sqrt{(0,0011+2735,66\,D\cos.\phi)}.$$

Che se si voglia dedurre la velocità media $U$ dalla velocità osservata nella superficie del fiume, senza ricorrere ad altre formole, basterebbe di rammentare che, ove la velocità superficiale non sia maggiore di m. 3 per ogni minuto secondo, come ordinariamente accade in pratica, è con molta approssimazione la velocità media ugnale a quattro quinti della stessa velocità superficiale, onde immediatamente da questa scaturisce il valore di quella (3).

(1) Vol. II Lib. II cap. XXXIV.
(2) *Ricerche geometriche e idrometriche fatte nella scuola degl' ingegneri pontificii d' acque e strade l'anno* 1821 — Milano 1822.
(3) Venturoli — Vol. II lib. II cap. XXXVI.

Così nel fiume Taro, al sito ove fu poi stabilito il nuovo ponte, dall'essersi osservato che l'acqua correva alla superficie con velocità di m. 2,50 per secondo, se ne inferì la velocità media di m. 2, onde $s =$ m. 0,20. E poichè l'area $Ly$ della sezione si rinvenne, come abbiamo notato, di m. q. 1510, così con questo metodo risultò la portata del fiume in quella stessa sezione di m. c. 3020 per minuto secondo, vale a dire non molto diversa da quella, ch'erasi ottenuta col metodo meteorologico. Ma per vieppiù approssimarsi a quelle leggi, che fu dato di arguire dai risultati delle sperienze idrometriche, sarà opportuno di ricavare la velocità media dall'equazione generale $u = v . \frac{v + 2,372}{v + 3,153}$ (1), ove $v$ rappresenta la velocità della superficie. Per tal modo si troverebbe che la velocità media del Taro nella sezione anzidetta avrebbe dovuto valutarsi di m. 2,15, cui corrisponde $s =$ m. 0,23; e conseguentemente la portata di m. c. 3246 per minuto secondo, valore pochissimo diverso da quello che si rinvenne dal Cocconcelli assumendo il medio fra la portata di m. c. 3466, ottenuta col calcolo meteorologico, e quella di m. c. 3020, derivata dall'ipotesi che la velocità media sia alla velocità superficiale :: 4 : 5.

Il processo più semplice, e nello stesso tempo meno ipotetico nei suoi principii, e meno incerto ne' suoi risultati, si è quello, in cui la velocità media si deduce dalla superficiale mediante l'equazione ultimamente addotta; ond'è che non dubitiamo di proporlo come il più opportuno da seguirsi in pratica per ottenere la velocità media, e la portata, ove si tratti di porre a calcolo cotesti elementi per determinare la giusta ampiezza della luce d'un ponte, ovvero per altre somiglianti ricerche.

§. 718. Dopo di aver fatta una giudiziosa scelta del sito per la più vantaggiosa collocazione del ponte, e di avere stabilite, giusta le norme ora spiegate, le dimensioni generali, o piuttosto cardinali, conforme dicemmo da principio (§. 714), dell'edificio, resta a volgere l'attenzione sulla distribuzione, sulla forma, e sulle dimensioni delle parti integranti. Secondo l'ordine, che ci prefiggemmo, parleremo ora primieramente dell'arcate, intorno alle quali tre essenziali articoli sono da considerarsi, cioè 1°. l'altezza della loro impostatura, 2°. il numero e la grandezza, 3°. la figura.

§. 719. La perfetta costituzione di un ponte esige che l'imposte, a

(1) Venturoli. Nel luogo precitato.

cui hanno origine l'arcate, sieno tutte più alte del pelo delle massime piene, avendo riguardo a quel maggiore alzamento, che in quello avrà luogo, quando la sezione si troverà impedita dal ponte. Egli è chiaro che qualora non si adempisse questa condizione, non sussisterebbero più i calcoli fatti nel determinare l'ampiezza della luce; poichè quest' ampiezza non sarebbe più costante, come si era supposto, dal fondo sino alla superficie del fiume, ma calerebbe gradatamente a cominciar dalle imposte dell'arcate, più o meno, secondo la curvatura e le dimensioni dell'arcate stesse. E quindi necessariamente dovrebbe accadere che l'aumento dell'altezza e della velocità nella corrente, all'incontro della sezione ristretta, sarebbe maggiore di quello ch'era stato preveduto; onde potrebbe andarsi incontro ad alcuno di quei danni, che nel determinare l'ampiezza della luce del ponte si era preteso di evitare. Oltre di che passando la corrente sopra l'imposte, ed accostandosi alla sommità dell'arcate potrebbe giungere a lasciar sì piccolo intervallo libero sulla superficie delle piene, che non potessero speditamente passarvi i tronchi e rami d'alberi, ed i ghiacci, che alcuni fiumi sogliono trascinare nelle impetuose loro piene; onde questi voluminosi galleggianti accumulandosi addosso al ponte, ed ostruendone la luce, sarebbero cagione di perniciosi vortici, e farebbero inoltre che il fiume si renderebbe più gonfio nel tronco superiore. Può accadere per altro alcune volte che, a voler situare l'imposte non più basse del pelo delle più grandi piene, si renderebbe necessario e di alzare eccedentemente l'edifizio, e i capi della strada ch'esso deve congiungere, talora anche incompatibilmente con la salvezza degli interessi delle case, o altre fabbriche, che si trovassero esistenti lateralmente ai detti capi della strada; ovvero di diminuire eccessivamente le saette dell'arcate relativamente all'aperture di esse. In tal caso può esser lecito di stabilire l'imposte alcun poco inferiormente al pelo delle piene massime, purchè per altro si abbia l'avvedutezza di assegnare all'arcate una figura tale, che inferiormente presso l'imposte si dilati quanto più è possibile, e produca il minimo impedimento alla corrente; siccome vedremo in appresso parlando della figura dell'arcate: e purchè non si trascuri di aumentare la luce totale del ponte, dopo di averla fissata col metodo testè spiegato (§. 216), in una discreta proporzione con l'impedimento, che verrà cagionato alle piene dallo stringimento, che soffre la sezione al di sopra dell'imposte per la curvità dell'arcate. Con sì fatte precauzioni si è in molti classici punti apportato un soddisfacente compenso alla bassa giacitura, in cui si sono dovute collocare l'imposte; mentre in altri ponti, ove l'imposte sono state fissate inferiormente al pelo delle massime piene, e sono state trasandate le dette precauzioni, n'è conseguito

se non altro che si è reso più notabile l'alzamento delle piene nel tronco superiore, con pregiudizio dell'adiacenti campagne. E non sarebbe forse fuor di ragione il sospettare che fra le cagioni degli straboccamenti, cui va soggetto il Tevere nelle vicinanze di Roma, sia appunto la cattiva costituzione de'vari ponti, che ne traversano il letto, cominciando dal ponte Milvio sulla linea della strada Flaminia, e venendo giù fino al semidiruto ponte Senatorio, nei quali, se da una parte appariscono mirabilmente adempite tutte le intrinseche condizioni di una solida e maestosa costruzione, non si scorge per altro che siasi fatto studio a quelle cautele, che sarebbero state necessarie a non turbare il buon regime del fiume.

§. 720. Il numero dell'arcate di un ponte è necessariamente dato allorchè è determinata la totale ampiezza della luce, ed è inoltre fissata l'apertura delle varie arcate, sia che questa debba essere la stessa in tutte, sia che debba variare dall'una all'altra con una legge stabilita. Generalmente si dà per regola che il numero delle arcate debba esser dispari, affinchè una ne cada nel mezzo della sezione, ove suol correre il filone del fiume negli alvei regolari. Questa regola vedesi in effetto osservata nella massima parte dei ponti; e rari sono quelli nei quali l'arcate sono di numero pari. Havvene tuttavia diversi in questo caso fra quelli che traversano l'alveo del Tevere: e sono il ponte Felice, esistente nella via Flaminia fra Civita-castellana ed Otricoli, il quale è composto di quattro arcate; il Milvio sulla stessa via Flaminia presso Roma, che ne ha quattro; il Fabrizio, volgarmente detto Quattro-capi, ed il Sisto, entrambi entro Roma, il primo de'quali è di due arcate, il secondo di quattro.

§. 721. In ordine alla grandezza dell'arcate la scelta del partito opportuno deve necessariamente dipendere dalle particolari circostanze, che sono variabilissime, e non ammettono veruna regola generale e positiva. Ciò che può dirsi a questo proposito si riduce ad alcune massime fondamentali; le quali giovano a dare un lume generico sul modo di contenersi nelle diversità de'casi pratici.

L'arcate di grand'apertura sono confacenti ai maggiori fiumi soggetti ad alte escrescenze: le piccole arcate convengono all'opposto ai fiumi di placido corso, ed in cui le piene non montano a grand'altezza. Ove poi si tratta di un alveo stabilito, in cui le sponde sono invariabili, fissata che siasi l'ampiezza della luce del ponte, giusta le norme testè spiegate (§. 716), la differenza che passa fra tale ampiezza e la vicendevole distanza delle sponde, o degli argini del fiume, farà conoscere lo spazio che complessivamente potrà essere ingombrato dalle pile, e quindi si potrà ragionevolmente dedurre quante pile, e per conseguenza quante arcate al più, quella sezione può comportare, assegnando rispettivamente alle pile

le grossezze convenienti a norma di ciò che fra poco saremo per dire a tale proposito. Importa pure d'aver riguardo alle maggiori o minori difficoltà che sono da superarsi per la fondazione delle pile dipendentemente dalla natura del fondo, e dall'altezza a cui si mantengono l'acque nel fiume in tempo di magra: poichè quanto maggiori sono sì fatte difficoltà, tanto più si rende opportuno di minorare il numero delle pile, e d'aumentare per conseguenza l'apertura dell'arcate. È d'uopo inoltre di diradar quanto più si può le pile, e di tener l'arcate della maggior ampiezza possibile, compatibilmente con gli altri essenziali riguardi, quando i ponti debbono essere innalzati sopra impetuosi fiumi, soliti a trascinar seco nelle piene masse di ghiaccio, e grossi alberi svelti dalle montagne, i quali venendo ad urtare ora in una or in un'altra parte le pile ed i piedi dell'arcate, ne fiaccano la struttura, e vi producono o presto o tardi non lievi danni. Nè vuolsi trascurare, ove sia d'uopo, la comodità della navigazione, studiando che l'arcate non abbiano a divenir troppo anguste, e ad impedire il passaggio a quelle barche, le quali sogliono percorrere avanti e indietro la linea del fiume. Faremo osservare che l'ampiezza dell'arcate vuol pure essere moderata a seconda dell'elevatezza della sponde, o piuttosto dei due capi della strada, rialzati quanto le circostanze e la convenienza possono permetterlo sul pelo delle maggiori piene del fiume: poichè ove tal elevatezza sia scarsa, volendosi impostare l'arcata a livello, o poco sotto il livello dalle piene massime (§. 719), se si assegnasse ad esse una grande apertura, potrebbe scemare soverchiamente il rapporto della saetta all'apertura stessa; il che facendo crescere la spinta laterale dei cunei, o delle parti componenti la volta, rende questa soggetta ad un calo esorbitante dopo la rimozione dell'armature (§. 671); oltre che in tal caso il sesto dell'arcata diviene necessariamente tale, che produce un rapido ristringimento immediatamente al disopra dell'imposte; il che impedendo lo sfogo alle massime piene, quand' anche non possa produrre un pernicioso aumento nella velocità e nell'altezza della corrente, perchè siasi a ciò proveduto nel determinare la luce del ponte, tuttavia ordinariamente non lascia di dar occasione a movimenti irregolari e vorticosi del fluido, i quali tendono a sconvolgere il fondo, e a diminuire la stabilità fondamentale dell' edificio. Finalmente influiscono sulla determinazione dell'ampiezza dell'arcate le qualità della struttura, e dei materiali, che debbono impiegarsi nella costruzione dell' arcate stesse; giacchè ove si possono costruire a grandi cunei di pietra forte, si potrà più francamente abbondare nell' apertura, ed all' opposto sarebbe imprudenza d'azzardare delle arcate straordinariamente ampie, ove la pietra de' cunei non fosse che di mediocre resistenza, ovvero in difetto di buona pietra fosse forza di

preferire la struttura laterizia. Nulladimeno anche questa struttura si appropria ad arcate di notabile apertura, purchè si abbiano tutte le cure opportune e nella scelta de' materiali, e nell'effettiva costruzione; e ne abbiamo una recente prova nel ponte sul Taro, il quale ha appunto le sue arcate della ragguardevole apertura di m. 24, formate, com'altra volta si disse (§. precit.), di semplice struttura laterizia.

§. 722. La più grande arcata di ponte che si conosce in Europa si è quella, che costituisce da sè sola il ponte di Vieille-Brioude sul fiume Allier nella Francia, la quale ha la spettacolosa apertura di m. 54,2, ed una saetta di m. 21. Essa è costrutta a due giri di cunei, l'uno di pietra vulcanica, l' altro di arenaria durissima; e quantunque edificata sin dall' anno 1454, ciò non ostante dopo la metà del decorso secolo non dubitava il Gauthey che potesse tuttora tenersi ferma col soccorso di alcuni ben semplici rinforzi (1). In Italia la più grand'arcata ch'esista è quella del ponte di Verona sull'Adige, la quale ha di apertura m. 48, 73; ed è accompagnata da due consecutive arcate molto minori, che hanno di corda l' una m. 15,27, e l' altra soli m. 11 (2)

§. 723. Il sistema più regolare di un ponte è naturalmente quello, in cui tutte l' arcate sono perfettamente uguali fra loro, e la via sul ponte si estende orizzontalmente dall' uno all' altro capo. Ed oltre la regolarità, cotesto sistema offre anche un vantaggio economico nella costruzione; ed è quello di poter armar di mano in mano tutte l' arcate con quello stesso legname, che avrà servito a comporre le centinature delle due prime, a meno che la poca grossezza delle pile non esigesse che tutte l'arcate si avessero ad innalzare contemporaneamente, e d'ugual passo, come vedremo in appresso. La giacitura orizzontale della strada sul dorso del ponte potrebbe invero esser contraria al pronto scolo dell' acque, le quali arrestandosi sulla superficie stradale la deteriorano, ed insinuandosi a poco a poco nella copertura, possono giungere fino al vivo dell' arcate, e recarvi col tempo seriosi pregiudizi. Ma è questo un inconveniente facile ad evitarsi, col moltiplicare gli sfogatoi laterali, per la dispersione, e pel pronto allontanamento delle acque. Il già nominato ponte Milvio (§. 720), ed il ponte Elio, in oggi chiamato ponte s. Angelo, che congiunge le due opposte sponde del Tevere in Roma innanzi la gran mole d'Adriano, sono costruiti in conformità di tale sistema, essendo il primo composto di quattro grandi arcate, tutte presso a poco della stessa apertura di m. 17,65, ed il secondo di tre grandi arcate, ognuna delle quali ha l' apertura di m. 18,25.

---

(1) Gauthey—*Construction des ponts*—lib. I cap. II sez. I.
(2) *Ibidem*—Cap. I sez. II.

Ma non rade volte accade, che a non volersi dipartire dall' anzidetto sistema si cadrebbe nell' alternativa o di alzare eccessivamente i due capi della strada con sacrificio delle circostanti fabbriche, e con ismoderato dispendio, ovvero di tener l'arcate più basse, di quello che è richiesto dalla buona costituzione dell' edificio, relativamente al libero, ed indenne sfogo delle piene. In simili casi può abbracciarsi convenevolmente il partito di elevare l'arcata o le due arcate di mezzo quanto può stimarsi opportuno a riguardo del fiume, e di tener poi gradatamente più basse l' arcate laterali di mano in mano che si accostano alle rive. In tal foggia è conformato il celebre ponte di Westminster eretto sul Tamigi a Londra alla metà dello scorso secolo, il quale è composto di tredici arcate di tutto sesto, impostate tutte alla medesima altezza, essendo quella di mezzo dell' apertura, o sia del diametro di m. 23,4, e decrescendo l' aperture dell' altre nella progressione che vedesi segnata nella fig. 284, la quale offre un piccolo disegno di cotesto grandioso ponte. I sunnominati ponti Felice, e Sisto, esistenti sul Tevere, sono essi pure costituiti in conformità dello stesso sistema, avendo il primo le due arcate di mezzo del diametro di m. 18, e le due laterali del diametro di m. 15,64; ed essendo nel secondo il diametro di ciascuna dell' arcate di mezzo di m. 21,33, e quello d' ognuna delle due laterali di m. 16,16. Scorgesi che in questo sistema essendo l' arcate di tutto sesto, ed i diametri progressivamente decresenti, diminuiscono progressivamente nella stessa proporzione l' altezze, o le saette; e giacendo l' imposte tutte in un medesimo piano orizzontale, ne deriva poi necessariamente che i vertici dell' arcate stesse si trovano di mano in mano più bassi accostandosi alle sponde, ed il dorso del ponte, accomodandosi alle posizioni di tali vertici, viene poi ad esser costituito da due piani inclinati, che s'intersecano in una linea orizzontale sopra il piano verticale condotto per l' asse dell' arcata di mezzo. Quando poi volesse assegnarsi a tutte l'arcate una stessa apertura e diminuirsi gradatamente la saetta, mantenendosi l' imposte tutte in uno stesso piano orizzontale, è evidente che il sesto non potrebb' essere uno solo per tutte le arcate. Potrebbero bensì queste essere tutte di un medesimo sesto, qualora assegnata a tutte una stessa apertura si venissero di mano in mano ribassando l' imposte delle arcate laterali, a modo che, presa una saetta comune per tutte, i vertici potessero gradatamente discendere al di qua, e al di là, talmente che il dorso del ponte potesse soddisfare al divisato doppio declivio. Così fatto temperatamento si addita dal Ganthey (1) come quello che permette di applicare una stessa

(1) Lib. II cap. I sez. IV.

armatura successivamente alle diverse arcate, di mano in mano che se ne vuol intraprendere la costruzione, e produce per questo riguardo quel medesimo risparmio di spesa, che abbiamo detto potersi ottenere da un sistema d'arcate tutte ugnali, ed impostate tutte alla stessa altezza, e che non è conseguibile in veruno degli altri accennati sistemi. Ma non sembra che questo vantaggio potesse essere un motivo sufficiente a giustificare in verun caso l'applicazione di cotesto sistema, il quale sarebbe senza dubbio di un effetto odievole all'occhio, e direttamente si opporrebbe ad un principio importantissimo, quale si è quello di star lontani quanto più è possibile dallo stabilire l'imposte inferiormente al pelo delle massime piene del fiume (§. 719.)

In qualunque caso, in cui possa rendersi conveniente di adottare il sistema dell'arcate disügnali e decrescenti verso le ripe, importa pel comodo della strada che l'acclività delle due montato, che si formano sul dorso del ponte, e che dall'uno e dall'altro de' due capi ascendono alla cima di esso, non oltrepassi un certo limite. I moderni costruttori stabiliscono che cotesta acclività o pendenza non debba essere maggiore dal 2,8 per cento (1).

§. 724. Le premesse considerazioni conducono agevolmente a vedere come determinar si debba l'altezza, o sia la saetta dell'arcate. È manifesto che la lunghezza della saetta è uguale alla distanza verticale, che passa fra il piano orizzontale dell'imposte, e quello altresì orizzontale, a cui terminano i due capi della strada sulle opposte ripe del fiume, meno quella porzione, che superiormente dev' essere occupata dalla materiale struttura della strada sul ponte, e dalla grossezza della volta alla chiave, accresciuta dalla grossezza di una *cappa*, o *tegumento* di smalto, di cui vanno ricoperte superiormente le volte per difenderle dall'acque. Ora cotesta distanza è data, essendo naturalmente data la posizione del piano superiore; e quello delle imposte essendo determinato, come si disse (§ precit.), dal pelo delle massime escrescenze del fiume. Inoltre la grossezza dell'arcata alla chiave è noto come debba determinarsi, data che ne sia l'apertura (§. 721); e a riguardo del prefato tegumento superiore di smalto, può essa accrescersi di un decimetro. Finalmente l'altezza occupata dalla materiale struttura della strada può generalmente valutarsi, per ciò che si disse nel libro primo (§. 113 e seg.) di m. 0,40. Ecco dunque che rimane così nota la residuale altezza, la quale costituirebbe la saetta dell'arcate. Ora primieramente

---

(1) Gauthey - Nel luogo precitato.

osserviamo, che qualora si scorgesse che per tale disposizione troppo scarso intervallo rimanesse fra i vertici degl' intradossi dell' arcate ed il pelo delle più alte acque del fiume, talmente che sotto l' arcate non restasse un sufficiente spazio libero pel passaggio de' galleggianti, che possono essere trasportati dalle piene, sarebbe inevitabile di rialzare i capi della strada, onde portare l' arcate a tale elevatezza, per cui restasse opportunamente provveduto all' indicato passaggio. In pratica si è riconosciuto che per sì fatto oggetto è d' uopo che dalla sommità interna dell' arcate al pelo massimo del fiume sia per lo meno un metro, quando tutte l' arcate abbiano ad essere ugualmente elevate sul piano comune dell' imposte; e qualora si adotti il sistema dell' arcate decrescenti, è necessario che nell' arcata, o nelle due arcate di mezzo, il detto intervallo sia non minore di m. 1,40 e quindi lateralmente pel progressivo ribassamento dell' arcate venga scemando con tal legge, che alle due estreme non riesca minore di m. 0,70 (1) Ma se con sì scarsa distanza dalle cime interne delle volte al livello delle più grandi piene, fossero effettivamente fissate l' imposte a questo medesimo livello, è manifesto che troppa sarebbe la sproporzione fra l' apertura e la saetta dell' arcate, per poco che l' apertura stessa fosse ampia; e che quindi le volte risulterebbero di un sesto eccessivamente scemo, onde ne deriverebbero eccessive spinte contro le pile e contro le spalle, e conseguentemente il bisogno di assegnare a queste una straordinaria grossezza; e ne nascerebbe pure una maggior propensione nelle volte a ribassarsi dopo la demolizione dell' armature, siccome già altra volta abbiamo avvertito (§. 721). Perciò ove da quell' ordine di cose, che finora si è supposto, derivassero saette assai piccole, ed arcate soverchiamente depresse, converrebbe studiarsi di aumentar le saette, sia con rialzare maggiormente i due capi della strada, e con ciò tutta la parte dell' edificio, che si solleva sull' imposte; sia con portare queste alcun poco sotto il pelo delle massime piene; sia combinando insieme l' uno e l' altro espediente, aggiungendo anche se fia d' uopo l' altro, di rendere il dorso del ponte culminante, anzi che orizzontale, con un sistema d' arcate decrescenti in altezza dal mezzo verso le sponde del fiume. Poste tali massime, la scelta del partito opportuno è rimessa alla sagacia, ed all' espertezza dell' ingegnere, nelle variabilissime circostanze de' casi.

§. 725. Veniamo a parlare della figura delle arcate. Queste generalmente sono di tutto sesto, o di sesto scemo, secondo che la saetta è di

(1) Gauthey - *Construction des ponts* — Lib. II cap. I sez. IV.

lunghezza uguale o minore della metà dell'apertura (§. 646). L'applicazione dell'uno o dell'altro di cotesti sesti nei casi effettivi viene dunque ad essere per se determinata, quando, giusta le premesse norme, siensi fissate l'aperture e le saette dell'arcate del ponte. L'arcate di tutto sesto presentano maggior facilità e maggior sicurezza di costruzione, e danno all'edificio un aspetto più bello e più maestoso; laonde sarà gloria dell'architetto se tutte saprà conciliare le condizioni della buona costituzione d'un ponte, con una serie d'arcate semicircolari, uguali o disuguali d'apertura: non però che si debba spingere la predilezione di questa forma d'arcate tant'oltre, che o abbiansi a portar l'imposte troppo al di sotto delle piene massime, come si osserva nei ponti antichi, ovvero abbiasi ad elevare smoderatamente l'edificio in modo che o si rendano troppo ripidi, e disagevoli i due accessi laterali, ch'è un vizio assai frequente ne' ponti di qualche secolo addietro, ovvero si vada incontro ad una spesa esorbitante, per protrarre l'alzamento della strada al di qua e al di là, quanto è d'uopo a conseguire un discreto declivio (§. 715). In ogni modo è da studiarsi che la proporzione della saetta all'apertura dell'arcate si attenui quanto meno le circostanze lo consentono, poichè quanto meno è scemo il sesto della volta, tanto minore è la sua spinta contro i piedritti; e la sua propensione a sfiancarsi; e tanto meno è soggetta a deprimersi nel primo istante che le vien tolto il sostegno delle centinature. La forma delle arcate di tutto sesto è unica, e non ammette variazione alcuna. Non così la forma dell'arcate di sesto scemo, alle quali potrebbero adattarsi varie specie di curvatura. Il sesto semielittico sembra preferibile ad ogni altro, se si considera che le tangenti alle due estremità della curva sono verticali e si confondono per conseguenza col vivo delle pile; dal che deriva che l'unione, o il passaggio dalla retta alla curva, succede senza un' aspra e spiacevole ripiegatura; e se di più si riflette che la sua curvità va equabilmente decrescendo dall'imposte fino al vertice, il che la rende di un aspetto gradevole all'occhio, al di sopra di qualunque altra curva, dopo la semicircolare. Ciò non ostante l'arte si astiene dal far uso del sesto semiellitico, non tanto per la difficoltà di tracciare geometricamente la curva in grande con esattezza, quanto per l'imbarazzo che s'incontrerebbe e nell'apparecchio e nel collocamento de' cunei in opera, atteso che questi dovrebbero essere tagliati con diverse sagome, e con diverse inclinazioni di letto; onde generalmente si è conosciuto opportuno di sostituire al semiellitico il sesto semiovale, il quale va meno soggetto all'accennato imbarazzo, e può in oltre adattarsi, ove occorra, ad offrire alla corrente superiormente all'imposte uno sfogo più ampio, di quello che si avrebbe da un'ellisse costituita intorno ai medesimi semiassi.

Conformando un'arcata di sesto scemo ad un solo arco di circolo, si evita onninamente l'imbarazzo della disuguaglianza de' cunei, poichè questi in tal caso debbono avere i letti tutti diretti ad un medesimo centro, e debbono tutti avere la superficie *intradossale* corrispondente ad una medesima sagoma. Ma così fatte arcate producono necessariamente troppo risentite ripiegature, ove nell'imposte vengono ad attaccarsi alle pile, e ristringendo troppo rapidamente la luce superiormente alle stesse imposte, impediscono quivi il corso delle acque, ogni volta che le circostanze richiedono che l'imposte medesime sieno stabilite più basse delle massime escrescenze del fiume. Ad onta di tali difetti il sesto ad un solo arco di circolo può talora convenientemente adottarsi, sempre che per altro l'imposte sieno superiori alle piene massime; qualora cioè il rapporto della saetta all'apertura delle arcate sia così piccolo, che a volervi adattare un sesto semiovale di forma regolare, e di non ispiacevole effetto, fosse d'uopo d'accozzare molti archi circolari di raggi diversi, d'onde insorgerebbe quella stessa difficoltà di costruzione, che abbiamo testè imputata all'arcate di sesto semiellitico.

§. 726. Si conchiude che a voler ordinare un ponte, in conformità di tutte le premesse massime, nel sistema più confacente alla buona costituzione dell'edificio, e al buon regime del fiume, si può essere indotti ad assegnare all'arcate or l'una or l'altra delle tre configurazioni testè considerate, cioè il sesto semicircolare, ovvero il semiovale, ed anche talvolta il sesto scemo ad un solo arco di circolo, a seconda delle diverse circostanze della strada e del fiume. E l'arte ci offre in fatto, nell'innumerabile schiera dei ponti, ch'esistono per tutta l'Europa, molti ragguardevoli esempi di queste varie specie d'arcate. I ponti esistenti sul Tevere, dei quali abbiamo di già nominati i principali, sono tutti ad arcate di tutto sesto. Tal è anch'esso il ponte di Westminster, di cui abbiamo pur fatto menzione (§. 723), e di cui abbiamo esibito il disegno nella fig. 284. Nè vogliamo passare sotto silenzio il bel ponte di Rimini sulla Marecchia, fatto edificare, per quanto si congettura, da Augusto Cesare; il quale è composto di cinque arcate di tutto sesto, delle quali le tre di mezzo hanno tutte lo stesso diametro di m. 8,93, e le due estreme hanno m. 7,15 di diametro; e si conserva tuttora quale fu descritto e delineato dal Palladio (1), conforme si può vedere nella fig. 285.

Il più grandioso ponte che sia stato costrutto con arcate di sesto

(1) *Dell' antichità* — Lib. I cap. XI.

semiovale è il più volte ricordato ponte di Neuilly sulla Senna, opera insigne del Perronet; il quale è composto di cinque grandi arcate semiovali, tutte della stessa apertura di m. 39, e della medesima saetta di m. 9,75, come si osserva nella fig. 286. Esibiamo nella fig. 287 un piccolo disegno del gran ponte eretto in questi ultimi tempi sul Taro, di cui pure abbiamo più volte avuto motivo di far menzione; il quale ha 20 arcate uguali di sesto semiovale, dell'apertura di m. 24, e della saetta di m. 6,60.

Finalmente per addurre qualche classico esempio di ponti ad arcate di sesto scemo ad un solo arco di circolo, ci basta di citare il gran ponte innalzato recentemente sulla Trebbia nel ducato di Parma dallo stesso Cocconcelli, architetto del ponte sul Taro; e di rammentar di bel nuovo l'altro grandioso ponte eretto sul Ticino a Boffalora, entrambi progettati ed eseguiti, come quello del Taro, con somma intelligenza e perfezione. Il ponte sulla Trebbia (fig. 288) è composto di 23 arcate tutte uguali, ed aventi m. 16,60 di corda, e m. 2,96 di saetta (1). Il ponte di Boffalora consiste (fig. 289) in 11 arcate, parimenti tutte fra loro uguali, colla corda di m. 24, e con la saetta di m. 4 (2). Questi tre ultimi ponti meritano per ogni titolo d'essere posti nel novero di quei moderni monumenti dell'arte, che fanno onore all'Italia, ed alla italiana architettura.

§. 727. La geometrica descrizione del sesto di un'arcata ad un solo arco di circolo uguale o minore della semicirconferenza, non offre nella pratica veruna difficoltà. Ma quando si tratta di dare all'arcate un sesto semiovale, importa di sapere con quali metodi grafici si possa adattare ad una data corda e ad una data saetta un sesto di cotal forma, che in sè riunisca le condizioni più confacenti non solo ad una regolare e piacevole apparenza, ma ben anche, se fia d'uopo, alla facilità dell'esito dell'acqua di sotto il ponte. In generale una semiovale dev'esser composta di un numero dispari di archi di circolo, i quali ove si congiungono sieno tangenti l'uno all'altro, e de' quali i due estremi sieno tangenti alle linee verticali, che costituiscono i vivi interni delle pile. L'adempimento di tali condizioni esige che gli archi estremi abbiano i loro centri sull'asse maggiore della semiovale, vale a dire sulla corda dell'arcata, e che la somma di tutti gli archi componenti faccia 180°. Si è conosciuto in pratica che generalmente, finchè il rapporto della saetta

(1) Cocconcelli - *Descrizione de' progetti e lavori ec.* - pag. 185.
(2) *Biblioteca italiana* - Tom. XLIX pag. 182.

alla corda non è minore di $\frac{1}{4}$, fa al caso una semiovale composta di soli tre archi di circolo. In tale ipotesi se chiamiamo $a$ la metà della corda $AB$ (fig. 290), $s$ la saetta $CD$, $x$ il raggio $ED$ dell'arco intermedio, $y$ il semidiametro $FA$ di ciascuno dei due archi laterali della semiovale, corrispondentemente all'annunciate condizioni si avrà fra $x$ ed $y$ la seguente equazione

$$(x-y)^2=(x-s)^2+(a-y)^2.$$

Ora con questa sola equazione fra le due incognite $x$ ed $y$ il problema sarebbe indeterminato, e quindi una delle due potrebb'essere determinata ad arbitrio. Giova questa circostanza ad introdurre una nuova condizione, opportuna a render la curva aggradevole all'occhio. Può a tal uopo servire la condizione proposta dal Bossut, che il rapporto geometrico de due raggi $x$, $y$ sia un minimo; per lo che, com'è ben noto, si richiede che il differenziale della quantità $\frac{x}{y}$ sia uguale a zero. Ciò posto eseguendo il calcolo, e facendo per maggior semplicità $AD = \sqrt{(a^2+s^2)}=c$, si trova

$$x=\frac{c(c+a-s)}{2s}, \qquad y=\frac{c(c-a+s)}{2a}.$$

Laonde se sull'ipotenusa $DA$ si prenderà il segmento $DG=a-s$, e diviso per metà in $H$ il segmento residuale $AG$, si condurrà per $H$ la linea $HE$ perpendicolare ad $AD$, la quale incontrerà in $F$ la corda $AB$, ed in $E$ la saetta $DC$ prolungata, saranno $ED$, $FA$ i due raggi, ed $E$, $F$ i due centri cercati.

Taluni costruttori in vece dell'anzidetta condizione, che il rapporto geometrico dei due raggi sia un minimo, introducono l'altra, che ciascuno dei tre archi componenti la semiovale sia di 60°. In tal caso non si ha che da costruire (fig. 291) sulla metà $CB$ della data corda $AB$ il triangolo equilatero $BOC$, e prolungata la saetta $CD$ finchè sia $CM=CB$, quindi condotta la linea $MO$, e tirata l'altra linea $DZ$ parallela alla stessa $MO$, e la retta $ZE$ parallela ad $OC$, i punti $F$, $E$, in cui questa incontra la $AB$, e la saetta $DC$ prolungata, saranno i due centri cercati. Con tal metodo sono state descritte le

**semiovali, che costituiscono il sesto di tutte l'arcate del nuovo ponte** sul fiume Taro (1).

§. 728. Finchè il rapporto della saetta alla corda non è minore d'un quarto, la semiovale descritta a tre soli centri coi metodi or ora spiegati riesce di forma non disaggradevole, poichè la diversità delle curvature degli archi componenti si mantiene entro un discreto limite, ed è poco sensibile all'occhio. Ma se il detto rapporto è al di sotto dell'accennato limite, la diversità della curvatura degli archi componenti la semiovale corre sfacciatamente all'occhio, e produce una forma spiacevole. Quindi è che in tal caso è forza di comporre la semiovale d'un maggior numero d'archi, onde far sì che dall'uno all'altro degli archi stessi vada a poco a poco crescendo la differenza della curvatura, così che l'occhio non abbia a rimanerne disgustato. Al ponte di Neuilly furono costrutte l'arcate con un sesto semiovale costituito da undici archi di circolo: nè si conosce alcun esempio in cui siasi fatto uso di semiovali composte d'un maggior numero d'archi circolari. Sembra anzi giusta la riflessione del Gauthey (2), che in qualunque caso, per quanto piccolo possa essere il rapporto della saetta alla corda, addivenga inutile di portare a più di cinque il numero degli archi componenti il sesto semiovale dell'arcata. Perciò senza diffonderci nell'esposizione de' vari metodi, che sono stati proposti o adoperati per descrivere delle semiovali policentriche, ci limiteremo a spiegare quello che dallo stesso Gauthey ci viene additato per la descrizione d'un ovale a cinque soli centri; il quale altronde all'occorrenza potrebbe anche estendersi facilmente alla geometrica costruzione di una semiovale composta di un maggior numero d'archi circolari.

Sieno $AB$, $CD$ (fig. 292) la corda e la saetta, intorno a cui vuolsi costruire la semiovale: e sieno assunti ad arbitrio il raggio $AF=r$ di ciascuno degli archi estremi, ed il raggio $DE=R$ dell'arco intermedio, in cui cade il vertice $D$. Chiamando $\rho$ il raggio degli archi laterali, compresi rispettivamente fra uno degli estremi, e quello intermedio, possiamo servirci per determinarlo della condizione ch'esso abbia ad essere medio proporzionale fra $r$ ed $R$, e quindi $\rho=\sqrt{Rr}$. Per lo che se fatto centro in $F$, con un intervallo $=\rho-r$, descriveremo un arco di circolo, e poscia fatto centro in $E$ col raggio $R-\rho$ descriveremo un altro arco di circolo, il punto $G$, in cui accadrà l'intersezione di tali due archi, sarà il terzo centro cercato dell'arco costituente il fianco della semiovale.

(1) Cocconcelli - *Descrizione de' progetti e lavori ec.* - pag. 41.
(2) *Construction des ponts* - Lib. II cap. II sez. II.

Essendo, come si è detto, arbitrari i raggi $r$. $R$, ne segue evidentemente che infinite ovali possono descriversi intorno a due dati semiassi, o vogliamo dire intorno ad una data corda e ad una data saetta. Nell' assegnare il valore di coteste due quantità, ecco quali sono le condizioni, di cui convien curare l'adempimento. 1.° Il raggio $r$ sia determinato in modo che l' arco di circolo con esso descritto, e che costituisce l'estremo tratto della semiovale dall' una e dall'altra parte, e va a terminare all' imposta, giri esternamente intorno al corrispondente arco dell' ellisse prodotta dai due medesimi assi della semiovale. Questa condizione tende a facilitare lo sfogo delle acque, quando le massime piene del fiume sopravvanzino l' imposte. Si può facilmente scoprire che a tal uopo importa che sia $r > \frac{s^2}{a}$. maggiore cioè della terza proporzionale ai due semiassi $a$, $s$. E quanto più le massime piene saliranno sulla linea dell' imposte, tanto più sarà necessario che il valore di $r$ ecceda l' indicato limite. 2.° Il raggio $R$ dell' arco supremo non si faccia d'una lunghezza eccessiva. In generale si prescrive ch' esso non debba esser maggiore del doppio dell' apertura dell' arcata: e se mai per qualche particolare motivo dovesse oltrepassare questo limite, sarebbe d' uopo o di assegnare all' arcate una grossezza in chiave maggiore di quella, che giusta le regole assegnate in addietro (§. 682) competerebbe alla data apertura, ovvero di dirigere i letti dei cunei, compresi nell' arco supremo, non al centro di esso, ma bensì ad un punto meno discosto dal vertice dell' arcata.

§. 729. Nulla più aggiugneremo intorno all' indole, alle condizioni, e alla descrizione geometrica delle curve, che ordinariamente costituiscono il sesto dell' arcate de' ponti. Ci resta bensì a dare un brevissimo cenno sul modo di descrivere meccanicamente sì fatte curve in grande, con le reali dimensioni dell' edificio, a fine di predisporre le sagome, che abbisognano e per dirigere l' apparechio de' cunei, e per comporre le centinature in modo, che la loro convessità si adatti alla divisata curva dell' intradosso. Finchè gli archi circolari componenti coteste curve hanno dei raggi di discreta lunghezza, possono descriversi senza difficoltà per mezzo di grandi compassi a verghe di legno ovvero di ferro. Ma per gli archi di raggio molto esteso i compassi sarebbero mal fermi, incomodi a maneggiarsi, e quasi inevitabilmente fallaci nell' effetto; onde convien ricorrere a più opportuno meccanismo. Trattandosi di un sesto semiovale si cominci dal determinare col calcolo le coordinate dei punti, ne' quali si congiungono i vari archi componenti, e quindi si segnino questi punti ai luoghi rispettivi, sul piano in cui

vuol delinearsi la sagoma. Per descrivere poi separatamente ciascuno degli archi circolari, di cui son fissate l'estremità, si uniscano stabilmente due righe, in guisa che formino un angolo invariabile, che abbia per misura il supplemento della metà dell'arco, che vuol tracciarsi; e quindi facendo muovere l'ordigno, a modo che i lati dell'angolo formato dalle due righe passino costantemente pei dati punti estremi, il vertice dell'angolo stesso descriverà sul piano l'arco cercato. Egli è chiaro che questo metodo può anche servire opportunamente alla descrizione di un gran sesto ad un solo arco semicircolare, o minore del semicircolo, purchè si determinino prima col calcolo delle rispettive coordinate le posizioni di vari punti del grand'arco, e quindi si descrivano ad uno ad uno nel modo anzidetto gli archi parziali, che si estendono dall'uno all'altro di tali punti.

§. 730. In ordine alle pile dei ponti, poichè quanto concerne il » loro numero e la loro altezza deriva immediatamente da massime già » stabilite nell'antecedenti considerazioni, due soli sono gli oggetti che rimangono da esaminarsi, cioè 1°. la grossezza, e 2.° la forma.

Le pile estreme, o sia le spalle di un ponte, debbono necessariamente avere tanta grossezza, quanta se ne richiede affinchè valgano a resistere alla spinta dell'arcate, che ad esse si appoggiano. Cotesta grossezza dovrà dunque essere determinata in conformità delle regole, che furono insegnate nel capo ottavo. Ma le pile intermedie non soffrono veruna spinta laterale dalle adiacenti arcate, poichè queste si fanno spalla l'una con l'altra, e le loro spinte vicendevolmente si elidono. Quindi a tutto rigore la stabilità dell'edificio, finchè questo si suppone nella sua integrità, altro non richiede, se non che le pile abbiano una grossezza sufficiente, relativamente alla pressione verticale, che ripartitamente esercita su di esse il peso dell'intera fabbrica. Con tutto ciò sin verso il declinare del decorso secolo non si era mai pensato ad approfittare di questa circostanza nella costruzione dei ponti; ed anzi in generale, e segnatamente ne' più antichi ponti, si osserva, che le grossezze assegnate alle pile erano anche maggiori di quelle che secondo i canoni statici sarebbero state necessarie, nell'ipotesi che ciascuna pila dovesse servir di spalla all'una o all'altre delle adiacenti arcate. E fu solo all'accennata epoca che i costruttori, nell'occasione d'innalzar grandi ponti a vaste arcate di sesto eccessivamente scemo, si trovarono più volte nella necessità di recedere dall'antico sistema, e a ridurre la grossezza delle pile al puro bisogno testè accennato, mettendo onninamente a parte la considerazione delle spinte dell'arcate. Due sono i vantaggi che si attribuiscono a questo metodo. Il primo si è quello che le pile magre, direm così, imbarazzano meno la sezione

del fiume, e favoriscono il libero sfogo dell'acque; e questo è un vantaggio reale, che può in alcuni casi rendere necessario, o almeno convenevole di appigliarsi a così fatto sistema. L'altro consiste nel risparmio di spesa, che deriva dallo sminuimento delle masse delle pile: ma questo è un vantaggio effimero, stante che vien distrutto dalla maggiore spesa occasionata dalle necessità d' innalzare contemporaneamente l' armature di tutte quante l' arcate, poichè queste avendo bisogno l' una dell' altra per sostenersi, in grazia della debolezza delle pile, è forza che sieno costrutte tutte ad uno stesso tempo; mentre quando le pile sono atte a resistere alle spinte dell' arcate, queste possono essere costrutte una dopo l' altra, e così quel legname che ha servito per l' armatura della prima, o delle due prime, può impiegarsi, senza bisogno di provvederne altro, per l' armamento dell' altre, che di mano in mano si debbono costruire. Quantunque poi la stabilità dell' edificio possa essere bastantemente assicurata con un sistema di pile men grosse di quanto abbisognerebbe, se dovessero frenare la spinta dell' arcate, ch' esse comprendono, tuttavia questa sicurezza non sussiste se non in quanto si suppone l' edificio nella sua integrità, come appunto si richiede acciò possa avverarsi il contrasto e l' elisione scambievole delle spinte dell' arcate: ed è questo un grande svantaggio se si consideri, che in tale stato di cose il venir meno di una sola arcata, per qualsivoglia causa possa supporsi, produrrà inevitabilmente la totale rovina del ponte; il che non sarebbe a temersi qualora la stabilità regnasse non solo nella totalità del sistema, ma ben anche separatamente nelle singole parti, offrendo tutte le pile la resistenza necessaria per reggere alle spinte, ed ostare allo sfiancamento dell' arcate. Per la qual cosa a buona ragione insistono i più assennati maestri dell' arte sulla convenienza di assegnare generalmente a tutte le pile dei ponti grossezza sufficiente, affinchè ciascuna sia valida ad opporre invincibile resistenza alla spinta di qualunque delle due arcate circostanti, quando l' altra di queste avesse a mancare per qualsivoglia cagione; ammonendo che qualora poi per le particolari circostanze si rendesse strettamente necessario di recedere da cotal massima, e di attenuare la grossezza delle pile in qualche ponte a molte arcate, a fine di non impedire soverchiamente lo sfogo della corrente, si usi almeno la precauzione d' interpolare delle pile grosse alle esili, alternandone una di quelle ad una, a due, o a tre di queste, affine di ovviare il pericolo del generale esterminio dell' edificio, e di circoscrivere per dir così la rovina nel caso di qualche parziale sconcerto.

§. 731 La forma propria di una pila, semplicemente considerata come una massa sostenitrice dell' edificio, è quella di un parallelepipedo

verticale, che ha due facce opposte parallele al corso dell'acque, ed insiste ad una base rettangola o trapezia, secondo che la direzione del ponte taglia ad angolo retto, ovvero obliquamente il corso del fiume (§. 715). Ma generalmente a questa massa, che costituisce il corpo della pila, sono annesse due appendici, che diconsi *rostri*, e più comunemente *tagliacqua*, uno dalla parte superiore, vale a dire verso l'origine, l'altro dalla parte inferiore, cioè verso lo sbocco del fiume. Cotesti rostri sono ordinariamente di forma prismatica triangolare, ovvero semicilindrica, talmente che la pianta d'un' intera pila è o quale apparisce nella fig. 293, ovvero quale si rappresenta nella fig. 294. Il vantaggio di questi rostri sporgenti dalle fronti delle pile consiste nel ridurre gradatamente l'alveo della sezione superiormente libera alla sezione ristretta sotto il ponte, e da questa di nuovo alla sezione libera nel tronco inferiore all'edificio, e di ovviare così quella notabile contrazione, e quei movimenti irregolari e vorticosi, che avvengono nel corso dell'acqua, ove la sezione repentinamente si ristringe, e tutte le dannose conseguenze che possono derivarne. I rostri superiori giovano anche col rendere obliquo, e quindi di minor efficacia l'urto de' corpi trasportati dalla corrente contro le masse delle pile. Così per l'uno come per l'altro di cotesti effetti importa evidentemente che i rostri si elevino fino all'altezza della piena massima del fiume.

§. 752. La ricerca della forma, e della lunghezza da assegnarsi ai rostri superiori d'un ponte, affinchè il ristringimento della sezione succeda con tal legge, che escluda il fenomeno della contrazione, costituisce un problema idrometrico, la di cui soluzione fu data dal Dubuat ne' seguenti termini (1). Sia $L$ la larghezza della sezione superiore libera, ed $l$ la larghezza della sezione ristretta sotto il ponte; e sia $\phi$ l'inclinazione del letto alla verticale. Chiamando $U$ la velocità della corrente nella sezione libera, ed $u$ la velocità variabile per una sezione intermedia fra la sezione libera ed il ponte, la di cui ampiezza sia $2y$, e la di cui distanza dalla stessa sezione libera sia $x$, si avrà pei principii dell'idraulica (2).

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{U^2}{2g} + x\cos.\phi,$$

d'onde si ricava

(1) V. la precitata opera di Gauthey Lib. II cap. V sez. II.
(2) Venturoli Vol. II lib. II cap. XXXI.

$$u = \sqrt{(U^2 + 2gx\cos.\phi)}.$$

Sostituendo tale valore di $u$ nella nota equazione della continuità, $UL = 2uy$, si ottiene fra $x$ ed $y$ l'equazione

$$4U^2y^2 + 8gxy^2\cos.\phi = L^2U^2$$

la quale sarà l'equazione di quella curva, secondo la quale dovranno essere configurati i lati de' rostri, affinchè la massa fluida non abbia a contrarsi nel graduato ristringimento della sezione; e se si porrà $y = \frac{l}{2}$, si verrà ad ottenere il valore della lunghezza $x$ che dovrà darsi al rostro, cioè

$$x = \frac{U^2}{2g\cos.\phi}\left(\frac{L^2}{l^2} - 1\right).$$

§. 733. Qualora in pratica si volesse assegnare ai rostri de' ponti la lunghezza risultante dalla formola testè ottenuta, essi diverrebbero eccessivamente lunghi ed aguzzi, laonde troppo deboli contro l'urto dei corpi, che il fiume potesse trasportare nelle impetuose sue piene. Per la qual cosa ne' fiumi di rapido corso, che sogliono nelle loro escrescenze trar seco masse di ghiaccio, o fusti d'alberi strappati dai monti, vuolsi ridurre la lunghezza de' rostri a modo che senza rendersi troppo taglienti, e soggetti ad esser danneggiati dagli urti che potranno ricevere, riescono validi se non ad impedire totalmente la contrazione della corrente, almeno a minorarla a segno tale che non se ne abbia a temere alcun sinistro effetto. Il valore di $x$ testè determinato potrà in ogni modo riguardarsi siccome il limite dell lunghezza del rostro, al quale questa si dovrà più o meno avvicinare in effetto, a giudizio de' costruttori secondo che l'indole conosciuta del fiume renderà più temibile o l'ingorgarsi della corrente, ovvero l'insulto di pesanti masse, solite ad esser portate giù dall'impeto delle piene.

§. 734. Abbiamo avvertito che i rostri, o tagliacqua debbono elevarsi fino al livello delle massime piene del fiume (§. 731). Le loro sommità sono coronate di coperchi o *cappucci* piramidali, o conici, ovvero d'altra forma, adattata a dar pronto scolo alle acque pluviali, affinchè non si arrestino a danneggiare i muri. Giova di citare alcuni esempi, dai quali appariscano le varie forme, che i costruttori hanno assegnate ai rostri dei ponti, e ai cappucci dai quali sono ricoperte le loro sommità. Gli antichi non usarono altra forma ne' rostri dei loro ponti,

che la semicilindrica ovvero la prismatica triangolare; i moderni ne hanno adottate a loro talento diverse altre. Al ponte di Moulins, innalzato dal Regemortes sul fiume Allier nella Francia (§. 575), le pile sono guarnite di rostri, i quali sono bensì di pianta triangolare, ma hanno il taglio ritondato, come osservasi nella figura 295. È questo un espediente utile a rendere gli spigoli de' rostri meno soggetti a rompersi per gli urti de' ghiacci, o d' altre masse trasportate dalle piene. Il cappuccio de' rostri nel detto ponte ha la forma di una piramide triangolare, siccome apparisce nella figura. Talune volte i rostri a base triangolare sono stati coperti da un cappuccio costituito da una piramide supina, formata da' prolungamenti delle facce verticali del rostro, e da un piano inclinato condotto per una retta orizzontale segnata sulla fronte del corpo della pila. Se ne ha un esempio nelle pile del ponte *au Change* a Parigi, delle quali n' è rappresentata una nella fig. 296. La fig. 297 mostra la pianta e l' elevazione d' una delle pile del gran ponte di Neuilly (§. 726), i di cui rostri sono di pianta semiovale, ed hanno sotto le volte un' origine comune con le strombature, di cui in breve faremo parola. I cappucci sono conici e di piccola altezza. Al ponte d' Orleans sulla Loira in Francia furono terminate le pile inferiormente con de' rostri di pianta semicircolare, e superiormente con rostri aventi per base un triangolo mistilineo, in cui i due lati bagnati dalla corrente erano due archi circolari di gradi 60. Quest'ultima forma è stata ora adottata pe' rostri tanto superiori quanto inferiori delle pile al gran ponte di Boffalora, d' una delle quali si offrono la pianta e l' elevazione nella fig. 298. Essi rostri sono coronati da cappucci piramidali. Ai ponti sul Taro, e sulla Trebbia i rostri sono tutti di pianta semicircolare, ed hanno i cappucci di forma piramidale a base dodecagona.

§. 735. Utile potrebb'essere ne' fiumi o che portano copiose e pesanti masse di ghiaccio, di conformare i rostri superiori de' ponti, a modo che presentassero alla corrente uno spigolo inclinato, siccome sagacemente erasi proposto dal Perronet per un ponte da costruirsi a Pietroburgo sulla Neva. Si è anche pensato di guernire i tagli de' rostri superiori con bande di ferro, ovvero con prismi massicci di ghisa. Potrà questo essere l' estremo espediente a cui ricorrere, ove sia grande l' affluenza dei corpi che sogliono scendere con le piene del fiume, ad investire i rostri d' un ponte, ed ove la pietra, di cui sono essi costrutti, sia di sua natura fragile in modo, che si vegga insufficiente non solo di rendere molto ottuso l' angolo saliente del tagliacqua, ma ben' anche di ritondarlo, come poco fa abbiamo detto essersi praticato nei rostri del ponte di Moulins.

§. 736. Allorquando è piccola la distanza, che passa fra il pelo della massima piena, e l'altezza a cui può convenevolmente portarsi la sommità del ponte; ed altronde le circostanze esigono che si facciano l'arcate di grand' apertura; si va inevitabilmente incontro ad uno di questi due inconvenienti: o di dover assegnare all' arcate un sesto eccessivamente depresso, ovvero di aver a situare l'imposte alquanto sotto le piene massime del fiume. Ma siccome le difficoltà, ed i rischi inerenti alla costruzione delle grandi arcate di sesto assai scemo sono gravi, ed inevitabili, così i moderni costruttori si sono avveduti essere in simili casi preferibile il partito di tener l'imposte più basse delle più grosse piene, ai difetti del quale si sono studiati di rinvenire qualche opportuno compenso. Questo consiste nel far sì che l'arcata si espanda all'imboccatura, ed ivi presenti alla corrente una luce più aperta di quella, che formasi nella parte interiore, ove la volta corrisponde al sesto stabilito. Le due estremità dell' arcata così dilatate costituiscono due strombature, alle quali, come altra volta si disse (§. 651) i francesi danno il nome di *voussures*; ed anzi, in questo caso dell' arcate de' ponti, le distinguono con la particolare denominazione di *cornes de vache*. La forma di tali strombature risulta dal tracciare una superficie gobba, mediante il movimento di una retta, che si conserva costantemente nel piano normale alla superficie cilindrica, o alle varie superficie cilindriche, che costituiscono quella dell' intradosso, appoggiandosi incessantemente all' arco, che forma il sesto dell' imboccatura dell' arcata, e ad una data linea curva tracciata sulla stessa superficie dell' intradosso. Di simili strombature si offre un classico esempio nell' arcate del gran ponte di Neuilly, d' una delle quali veggonsi in disegno il prospetto e lo spaccato nella fig. 299. L' arco esteriore, o vogliam direm dire frontale della strombatura, importa che abbia le sue imposte a livello delle maggiori piene. Ma da così fatto espediente debbono necessariamente nascere nuove difficoltà di costruzione; e sembra, che molto più semplice, e d'effetto ugualmente soddisfacente, dovrebbe riuscire l'altro partito di conformare quell' ultimo tratto superiore del rostro di ciascuna pila, che giace fra l' imposte ed il pelo più alto del fiume, a modo tale che la corrente, senza incontrare un improvviso restringimento all' imboccatura delle due arcate laterali, venisse gradatamente ristretta prima d' entrarvi. S' intenda perciò protratto in alto il taglia-acqua, di forma prismatica triangolare, fino all' incontro d' un piano inclinato, che passi per la linea $BB'$ dell' imposte (fig. 300), e pel punto $A$, preso sul taglio del rostro medesimo all' altezza delle massime piene; e quindi sul detto piano inclinato fino al piano orizzontale $CAC'$, condotto pel punto $A$, intendasi lateralmente terminato il taglia-acqua da due superficie coniche, generate dal movimento di due rette,

che passando costantemente pel punto $A$ si appoggiano di continuo l' una all' arco $BG$, l' altra all' arco $B'C'$: potendosi quindi coprire la sommità $CAC'$ con un cappuccio piramidale $CDC'A$, come apparisce nella figura.

§. 737. Le cosce, le pile, e l'arcate, intorno alle quali si sono sin qui aggirate le nostre considerazioni, possono risguardarsi siccome le parti essenziali d' un ponte d' opera murale. Resta ora che consideriamo le altre parti, che possono dirsi accessorie, o piuttosto completive, poichè sono più o meno necessarie a compiere la fabbrica, ed a perfezionarla, corrispondentemente all' uso, cui è destinata, ed alle fondamentali condizioni già da principio stabilite (§. 714). Coteste parti completive sono 1.° i muri di faccia, che diconsi anche muri *andatori*; 2.° i muri d' ala; 3.° le luci sussidiarie, che chiamansi *occhi di ponte*; 4.° il mantello, o sia la cappa, che cuopre esteriormente l' arcate (§. 724); 5.° la forma e la materiale struttura della strada sul ponte; 6.° i parapetti.

§. 738. Muri di faccia, o andatori son quelli, che compiono le fronti dell' edifizio superiormente alle pile, e fra le teste dell'arcate, sino alla sommità del ponte; vale a dire fino all' altezza della superficie della strada, che su di esso deve stabilirsi. Essi sono destinati a contenere il muramento massiccio, che s' innalza fra i fianchi, dell' arcate, ed il materiale che compone la strada sul ponte. La loro struttura suol essere in pietra di taglio, ovvero laterizia; mentre l' interno muramento interposto ai fianchi dell' arcate è ordinariamente cementizio. L' ufficio a cui sono destinati non esige in essi molta grossezza, e basta che questa sia al più d' un metro.

§. 739. I muri d' ala sono quelli che fiancheggiano per lo più obliquamente l' imboccature, o sia gl'ingressi del ponte, ad oggetto o di ristringere gradatamente la larghezza della strada, se di questa è minore quella del ponte, ovvero di minorare a poco a poco la larghezza del fiume, onde ridurlo ad incanalarsi per la luce del ponte, ovviando o almeno minorando gli effetti della contrazione. Qualora si miri a questo secondo scopo, le considerazioni, che abbiamo fatte relativamente alla forma e alla lunghezza più vantaggiosa de' rostri (§. 732), sono immediatamente applicabili anche alla figura, e all' estensione de' muri d' ala. Ma siccome ordinariamente si procura di non iscemare la larghezza naturale dell' alveo del fiume, e di collocare le spalle del ponte sulla linea delle naturali ripe, così nella pratica difficilmente accade di dover servire a cotesto scopo, il quale, volendo stare rigorosamente attaccati alle considerazioni testè citate, impegnerebbe non di rado ad operazioni di eccessivo dispendio. Quindi l' ufficio de' muri d' ala suol limitarsi semplicemente ad accordare gradatamente la larghezza della strada con

quella del ponte, ed in tal caso la forma di essi è quale vedesi rappresentata nella fig. 301. Il tratto $BC$ è destinato a formare il graduato passaggio dalla larghezza del ponte a quella della strada, che si suppone maggiore: l'altro $AC$ deve sostenere il terreno rilevato, sul quale corre la strada a congiungersi al ponte. Il primo tratto ha la sommità orizzontale, sulla quale si protrae il parapetto, che come diremo, deve chiudere dall' una, e dall' altra parte la strada sul ponte: il secondo tratto ha la sua cresta inclinata a seconda della scarpa del terrapieno, e si ripiega verticalmente alla sua estremità inferiore, affinchè ivi offra la necessaria solidità. La declinazione de' muri d' ala dall' asse, o sia dalla direzione del ponte, non può derivare da una regola generale, ma dipende dalla maggiore o minor lunghezza, che le circostanze possono rendere necessario di assegnare a tali muri, e dal maggiore o minor risalto delle cosce del ponte dalle sponde naturali del fiume. Possono anche i muri d' ala essere tirati talvolta in direzione normale a quella del ponte; ma siccome tale disposizione è manifestamente contraria al regolato sfogo delle piene per la luce del ponte; così in quei fiumi, ove queste s' inalzano di molto sul pelo dell' acque magre, converrà guardarsi dall' adottarla: e converrà altresì starne lontani tutte le volte, che si scorga, che le sponde naturali, cui debbono attaccarsi i muri d' ala, sieno sottoposte ad esser corrose e sconvolte dalla forza della corrente. La grossezza de' muri d' ala vuol essere proporzionata alla resistenza, ch'essi debbono esercitare contro la spinta del terrapieno, che ad essi si appoggia (§. 633. e seg.); ed affinchè siano più vigorosi a resistere sogliono esternamente configurarsi a scarpa. La loro struttura è talora in pietra di taglio, nel qual caso gli spigoli troppo aguzzi di quelle pietre, che vengono a terminare alla cresta inclinata del muro, affinchè non sieno troppo soggetti a spezzarsi, si lavorano a smusso come appunto si dimostra nella figura. Altre volte cotesti muri sono costrutti in pietrame ovvero d'opera laterizia, ed allora la loro cresta inclinata si forma, o di lastre di pietra, ovvero di mattoni in costa; che compongono quella specie di coronamento, che dicesi *incoltellata*.

§. 740. Quella parte massiccia di muro, che è fra i fianchi convessi di due arcate contigue superiormente all' interposta pila, ricevono il nome di *timpani*. A diminuire l' impedimento, che questi recano alla corrente, quando l'imposte sono superate dalle maggiori escrescenze del fiume, sogliono traforarsi per quanto è largo il ponte, e sì fatti trafori sono quelle luci sussidiarie, cui abbiamo detto darsi il nome d' occhi di ponte (§. 737). Le piene trovano per essi uno sfogo accessorio, che compensa in parte il restringimento generato al di sopra dell' imposte dalla forma ricurva dell' arcate. Codesti occhi possono essere di sesto

circolare, come al nuovo ponte sul Taro (fig. 287), e come pure nel timpano che sovrasta alla pila di mezzo del ponte Sisto sul Tevere (fig. 302): ovvero a forma di piccole arcate, con istipiti più o meno alti, e con volta di tutto sesto, conforme osserviamo nell'unico timpano del ponte Fabricio, esso pure sul Tevere (fig. 303). L'utilità, e la struttura di tali articoli accessori non abbisognano di altre particolari illustrazioni.

§. 741. L'arcate de' ponti sono formate in pietra da taglio, o di struttura laterizia. Nel primo caso i cunei hanno tutti presso a poco la stessa lunghezza, onde la volta, fin dove penetra la struttura in pietra di taglio, è di grossezza costante. Lo stesso accade quando essa è di struttura laterizia, consistente in uno, o in due giri di mattoni, posti a modo di cunei. Ma siccome i fianchi dell'arcata sia nel primo, sia nel secondo caso, sono sopraccaricati da quelle masse di muramento cementizio, che costituiscono i timpani (§. 738,739), le quali si elevano fino al piano, che passa per le sommità degli estradossi dell'arcate, così avviene, che cotal piano costituisce il vero estradosso nelle singole arcate, e quindi è che nelle disamine statiche tendenti a determinare la spinta dell'arcate, e la grossezza da assegnarsi alle spalle, ed alle pile, che debbono opporsi a cotesta spinta, conviene riportarsi a quelle formole che furono dedotte in addietro pel caso di quelle volte a botte, il di cui sesto ha per estradosso una retta orizzontale (§. 685), non omettendo d'introdurre nella valutazione dei due elementi *O*,*G*. quei pesi accessori, che derivano e dalla cappa, che ricopre esteriormente le volte, e dal materiale, che compone il pavimento stradale sul dorso del ponte. La cappa, o copertura or qui ricordata serve, come già dicemmo (§. 724), ad impedire che l'acque, che trapelano a traverso il pavimento superiore, vadano ad insinuarsi nella massa del muramento dell'arcate, e de' timpani, e vi producano qualche deterioramento. Ed affinchè l'acque stesse non si arrestino sulla superficie di questa cappa, e non vi mantengano una pregiudizievole umidità, si sogliono inclinare le sommità de' timpani nel interno del ponte in modo, che in vece di trovarsi tutte in un medesimo piano orizzontale formino dei piani inclinati alternativamente l'uno all'opposto dell'altro, in guisa che i vicendevoli concorsi siano sopra tante orizzontali, e costituiscano un angolo saliente nella sommità di ciascuna arcata, ed un angolo rientrante nel mezzo di ciascuna pila. Questi angoli rientranti saranno come tante cunette, nelle quali si raduneranno l'acque penetrate sugli adiacenti piani inclinati, e d'onde avranno esito, mediante alcuni fori, o sfogatoi inclinati, praticati nella grossezza del muramento, e sboccanti agl'intradossi delle laterali arcate. La cappa si costruisce di un buono smalto composto di calcina, e di pozzolana o d'altra sostanza congenere, e di ghiaia minuta, ovvero di pietrisco.

Si distende questo smalto a strati della grossezza di due o tre centimetri, e si batte strato per istrato, affinchè la materia si costipi, e non vi rimangano screpoli. Gli strati debbono essere tre almeno; ai quali in fine se ne soprappone un altro di malta fina, composta di calcina, e polvere di mattoni, della grossezza di 15, o 20 millimetri, applicato e battuto con maggior cura de' precedenti. La cappa così formata, affinchè non sia troppo precoce il suo asciugamento, si cuopre con un suolo di sabbia alto 15 in 20 centimetri; il quale in capo ad un mese circa si toglie, e dopo di aver dato sulla superficie della cappa stessa un ultimo leggiero intonaco con malta liquida di calcina e polvere laterizia, si può francamente procedere alla costruzione del pavimento stradale.

§. 742. La strada sul ponte essendo contenuta dai laterali parapetti, è precisamente nella stessa condizione delle strade di città, che da una parte e dall'altra hanno, in vece dei fossi, i muri delle case, o d'altre fabbriche. Per altro atteso il bisogno di richiamare le acque pluviali nei due lati, affinchè o scorrano verso i due capi del ponte a far recapito negli opportuni fossi di scarico (§. 107), ovvero si disperdano per gli sbocchi o pe' condotti appositamente apparecchiati nei fianchi del ponte, rendesi esclusivamente adattato a quei tratti di strada, che sono stabiliti sui dorsi de' ponti, il profilo trasversale a schiena, come per le strade di campagna (§. 106). Il comodo e la sicurezza di quelli, che viaggiano a piedi, rendono di grande importanza sui ponti i marciapiedi laterali, i quali però per essere veramente utili è d'uopo che abbiano la larghezza non minore d'un metro, e quando le circostanze non permettessero di farli che più angusti, sarebbe piuttosto conveniente di sopprimerli affatto. Nell'interno delle città è necessario di assegnare ai marciapiedi de' ponti una larghezza anche maggiore dell'indicata, in proporzione che il passaggio suol essere più o meno frequentato; ed il Gauthey prescrive (1) che in questo caso i marciapiedi non abbiano a farsi men larghi di m. 1,50. Essi debbono essere alquanto elevati sulla superficie della carreggiata. Il profilo trasversale della strada sul dorso d'un ponte diviene secondo le premesse massime quale si dimostra nella fig. 304, ove $AA$ è la sommità dell'arcata, che raffigurasi costrutta in pietra di taglio; $BBB$ mostra la protrazione del muramento cementizio, che costituisce i timpani, e si estende anche sulle arcate, fino a livello delle sommità de' muri andatori $C$, $C$; al di sopra di questi veggonsi due fascie sporgenti $M$, $M$, che fanno corona alle due fronti dell'edificio, e su di esse si ergono i parapetti $N$, $N$; si osserva sulla

(1) Lib. II cap. VII.

massa cementizia $BBB$ la cappa, o copertura di smalto $e, e$, alla quale è addossata nel mezzo la materiale struttura $e, e$ della carreggiata, e lateralmente i due marciapiedi $E, E$, i quali hanno il corpo $E$, fatto di muramento cementizio, ovvero di una semplice riempitura di arena, o d'altra materia ben compressa, le fronti o, o di pietre di taglio, ed il pavimento selciato; dinanzi alle fronti $o, o$ de' parapetti sono segnati gli scansaruote $d, d$, che servono a quelle di difesa; finalmente i trombini o5,o5, distribuiti a discrete distanze di qua e di là dalla strada, sono destinati a ricevere l'acque pluviali che cadono sulla superficie della strada, ed a scaricarle nel fiume sotto le arcate. Questi trombini non sono necessari allorchè la strada sul ponte ha una pendenza longitudinale verso le due testate, poichè in tal caso le acque hanno un facile scolo per le cunette laterali adiacenti ai marciapiedi, e vanno quindi a disperdersi nei fossi di scarico ai due capi del ponte. Nella figura si rappresenta il pavimento della strada di struttura selciata, la quale è la più confacente ad impedire che l'acque s'insinuino fino alla superficie della sottoposta cappa, ove la sua permanenza sarebbe dannosissima, ed anche il suo frequente passaggio, lasciandovi sempre qualche residuo d'umidità, potrebbe a lungo gioco produrre de' pregiudizievoli effetti.

§. 743. I parapetti sono indispensabili per la sicurezza delle vetture, e della gente pedestre ed a cavallo: l'altezza di essi è ordinariamente di un metro circa, quantunque in alcuni paesi, e segnatamente nell'Inghilterra soglia essere molto maggiore, e giunga talvolta perfino a due metri. La loro grossezza varia fra i 40 e gli 80 centimetri. La struttura di essi può essere in pietra di taglio, e quando si vogliono costruire d'opera laterizia, ovvero in pietrame, conviene cuoprirne la sommità o di lastre di pietra, ovvero d'un'incoltellata di mattoni. E se per un riguardo d'economia si volesse talvolta omettere il coronamento di lastre, e l'incoltellata, e costruire tutto dal fondo alla cima il parapetto con muramento di pietrame, sarebbe d'uopo lavorarne la sommità a cresta semicilindrica, o, come comunemente dicesi, *a cappello*, affinchè in grazia di cotal forma riuscisse più stabile, e disposta a liberarsi prontamente dalle acque pluviali.

§. 744. Quando si tratta di ergere un ponte su qualche torrente, che vaghi sfrenato per le campagne, ove non abbia per anco stabilito il proprio alveo, massima è l'importanza d'antevenire il caso, che divertendosi il fiume a destra, o a sinistra di sopra al ponte, lasci questo appartato ed inutile, venendo a tagliare la strada in un sito diverso da quello di prima. Qualora dunque si affaccino insuperabili difficoltà, ovvero irrepugnabili motivi, ad impedire o a sconsigliare, che venga condotto

l'andamento topografico della strada ad incontrare il fiume in un punto, ove il suo alveo sia stabilito (§. 312); e sia forza di collocare il ponte a traverso un tronco d'alveo incerto e mutabile; tutto lo studio deve consistere nell'organizzare tali ripari nell'alveo, superiormente al sito del ponte, che valgano ad impedire qualunque diversione del fiume. Importa sopra tutto di osservare il più prossimo punto superiore, in cui l'alveo, per la natura delle sue sponde, sia immutabile, e di assegnare, venendo giù da questo punto, l'andamento più regolare del letto del fiume, avendo scrupoloso riguardo alle circostanze del letto naturale per un buon tratto successivo; e determinato l'andamento, che converrebbe alle sponde in tale ipotesi, e fissata, secondo le regole che furono indicate (§. 716. e seg.), l'ampiezza della luce totale del ponte, si stabilirà la corrispondente posizione di esso. Quindi dal punto anzidetto, da cui il fiume non può scostarsi, fino al sito del ponte, vanno disposti i ripari tendenti a frenare la corrente, e costringerla a non deviare dal divisato andamento, che la conduce ad imboccare direttamente sotto il ponte. I ripari possono consistere in pennelli, in sponde artificiali, argini di varia forma e struttura, corrispondentemente all'indole del fiume, ed alle circostanze de' luoghi. Il nuovo ponte sul Taro si dovette collocare in un tratto di fiume di corso irregolare ed incerto, poichè non volevasi declinare dalla linea preesistente della strada Emilia; e quindi si fu nel caso di ricorrere a quei provvedimenti, che abbiamo testè accennati. Questo caso potrà servir d'esempio agli studiosi, i quali ne troveranno registrate le particolari circostanze, e gli espedienti opportunamente adottati, nella descrizione del Cocconcelli, cui più volte abbiamo avuto occasione di citare nel corso di queste istituzioni.

§. 745. Dalla compiuta esposizione delle condizioni essenziali, dalle quali dipende la buona costituzione d'un ponte, e delle norme opportune ad assicurarne l'adempimento nella generale sistemazione dell'edificio, e nel singolare ordinamento di ciascuna delle sue parti integranti e completive, si può facilmente raccogliere quali operazioni, e quali indagini preparatorie si richiedano per ben concepire ed ordinare il progetto d'un ponte, confacentemente alle particolari circostanze del fiume, sul quale deve innalzarsi, e della strada di cui deve far parte. Fa d'uopo primieramente di levare una mappa accurata di tutto quel tratto dell'andamento del fiume, in cui deve essere scelto il sito opportuno per la collocazione del ponte. Importa altresì di premettere una scrupolosa livellazione del fiume stesso, non solo per l'accennata estensione, ma per un buon tratto superiore, o sia verso l'origine, e di formarne un circostanziato profilo longitudinale, accompagnato da buon numero di profili trasversali, da cui possono apparire la pendenza del fiume, l'elevatezze delle

sue sponde, le lunghezze dell'alveo, la figura trasversale del fondo, la giacitura delle campagne laterali, le circostanze de' torrenti, e degli scoli tributari, le diverse altezze della corrente nei vari suoi stati, cioè in quello di magra, e nelle mezzane e nelle massime escrescenze; finalmente l'elevazione, ed il modo di esistere relativamente all'orizzontale dei due adiacenti tronchi di strada, che sono interrotti alle sponde del fiume, nel caso che il ponte debba costruirsi sull'andamento d'una strada preesistente. Gioverà poi di prender notizia della durata ordinaria delle massime piene del fiume, e dell'estensione superficiale del paese, che immette le sue acque nel tronco di esso fiume, che si estende dall'origine fino al sito ove si vuole collocare il ponte, le quante volte si voglia da questi elementi dedurre la portata del fiume in piena col metodo meteorologico, pel calcolo della giusta luce da assegnarsi al ponte (§. 717). È pure di assoluta importanza d'esplorare preventivamente quali materie si offrano sotto il fondo del fiume, onde poter prevvedere le difficoltà con cui si dovrà lottare per la fondazione delle spalle, e delle pile del ponte, e quali possano essere i mezzi più acconci a superarle, avendo riguardo all'altezza, cui si mantengono l'acque nel fiume nell'ordinarie magre; ed a fine di prender norma opportuna per la determinazione dell'ampiezza da assegnarsi all'arcate, o vogliam dire della limitazione da osservarsi nel numero delle pile (§. 721). In fine non si ometterà di prendere contezza de' materiali, che il luogo può somministrare, o che possono convenevolmente aversi dai d'intorni, e di studiarne deligentemente le qualità, a fine di poter fare avveduta scelta del genere di struttura da adottarsi, e di aver pronti i dati che abbisognano per calcolare le dimensioni da assegnarsi alle masse resistenti, onde valgano a non esser sopraffatte dalle spinte cui sono contrapposte. Queste ed altre simili ricerche di fatto sono da anteporsi a qualsivoglia progetto architettonico; il che basterà che siasi qui avvertito una volta per sempre, senza che abbiamo inutilmente a ripeterlo in proposito delle poche altre specie d'edifici, de' quali parleremo in appresso.

## CAPO XII.

### *De' sostegni*.

§. 745. Ufficio de' *sostegni*, conosciuti anche sotto nome di *conche*, si è di moderare la pendenza del fondo d'un canale navigabile, a fine di accrescere in esso l'altezza dell'acqua confacentemente al bisogno della navigazione, senza impedire il corso continuato delle barche lungo il

canale, ad onta della separazione di questo in diversi tronchi, e della differenza di livello, a cui si mantengono le acque ne' tronchi medesimi (1). Un sostegno è costituito da due chiuse a porte (§. 357), le quali traversano il canale, e ne rinserrano un breve tratto, capace di contenere una o più barche. Le porte di ciascuna delle due chiuse, sono disposte a potersi aprire contro la direzione della corrente: quelle della chiusa superiore hanno il nome di *portine*, per distinguerle da quelle della chiusa inferiore, che chiamansi *portoni*. Il breve tratto di canale intercluso fra la chiusa superiore e l'inferiore dicesi *vasca*, *cratere*, ovvero *bacino* del sostegno.

§. 747. Affinchè la pressione dell'acqua non osti all'aprimento delle porte dell'una, o dell'altra chiusa, è manifestamente necessario che il fluido sia allo stesso livello superiormente ed inferiormente, vale a dire nel cratere del sostegno, e nel tronco di canale adiacente alle porte che vogliono dischiudersi. Affinchè appunto possa l'acqua giusta il bisogno innalzarsi ed abbassarsi entro il cratere, quanto importa per mettersi a livello con quella del tronco superiore, ovvero con quella del tronco inferiore, sono in ciascuna delle due chiuse degli sfoghi, ovvero de' condotti di comunicazione, che a piacimento possono essere aperti, ed otturati; pei quali l'acqua può passare dal tronco superiore nel cratere, e da questo nel tronco inferiore, quantunque si tengano serrate le porte dell'una o dell'altra chiusa. Allorchè poi si è ridotta l'acqua nel cratere ad uno stesso livello con quella dell'uno de' due vicini tronchi del canale, diviene facile di aprire le porte dell'interposta chiusa, non avendosi più a superare che la resistenza opposta dal fluido ambiente al movimento di ciascuna porta, che è quella che in idraulica propriamente si dice resistenza del fluido (2), cui si aggiunge l'altra, che proviene dall'attrito de' cardini. Nel secondo libro (§. 374) fu già spiegato quali siano gli espedienti soliti ad esser usati per aprire le porte de' sostegni, allorchè l'acqua si è messa allo stesso livello dall'una, e dall'altra parte di esse. Quando poi si tratta di serrare le porte d'una delle due chiuse, basta d'aprire le comunicazioni inerenti all'altra di esse; perchè l'acqua, mettendosi così necessariamente in corso fra le porte della prima, le sospinge a poco a poco da sè stessa a chiudersi. Potrebbero per altro le porte chiudersi, indipendentemente dall'impulso dell'acqua, per mezzo d'espedienti simili a quelli, che servono pel loro aprimento.

---

(1) Venturoli. Vol. II Lib. IV cap. IX.
(2) *Ibidem* lib. III cap. I.

§. 748. Dopo questi brevi cenni preliminari si può facilmente comprendere l'artificio, con cui si fanno passare le barche pel sostegno dall'uno all'altro dei contigui tronchi del canale. Si aprono da prima le comunicazioni fra il tronco, per cui la barca è arrivata al sostegno, ed il cratere in cui essa vuol introdursi; e quando le acque nel cratere, e nel detto tronco sono giunte al medesimo livello, si aprono le porte dell'interposta chiusa, e si fa entrare la barca nel sostegno. Si chiudono allora le comunicazioni della chiusa che fu spalancata, e si aprono quelle dell'altra chiusa, che resta a tragittarsi dalla barca, affinchè le acque si mettano ad un stesso livello nel cratere e nell'altro tronco, in cui la barca deve passare, ed intanto per l'impulso della corrente, coadiuvato se fia d'uopo da manuali operazioni, fa che si serrino le porte della chiusa già tragittata; dopo di che aprendosi le porte dell'altra chiusa, entrerà la barca nel tronco di canale, per cui deve continuare il suo corso.

§. 749. La grandezza e la forma del sostegno vogliono essere determinate dipendentemente da tre condizioni essenziali; e sono 1°. il minimo consumo d'acqua nel passaggio delle barche; 2°. la sollecitudine del tragitto; 3°. finalmente la facilità e l'economia della costruzione. La seconda e la terza condizione sono di generale importanza. La prima si rende interessante soltanto in quei canali navigabili, che hanno un limitato alimento d'acqua da povere sorgenti, ovvero da naturali, o artificiali serbatoi, capaci di essere esauriti; e si rende vano in quei canali, che sono alimentati da fiumi perenni, quali sono tutti i nostri canali navigabili dell'Italia. In conformità di coteste condizioni facciamoci ad esaminare come si debba assegnare 1.° l'ampiezza o sia la larghezza delle due chiuse, 2.° la lunghezza del cratere, 3°. la sua larghezza interna, 4°. la sua forma. In cotale disamina, e così nell'altre, che ci occorrerà d'istituire relativamente ai sostegni, trarremo principalmente lume dagli ammaestramenti lasciatici dal Gauthey (1), uomo versatissimo in tal materia per le belle occasioni, ch'ebbe ne'canali navigabili della Francia, di applicare il suo ingegno a fare studio, ed esperienza in questa sorta d'idrauliche costruzioni.

750. L'esperienza ha dimostrato, che quando la larghezza delle chiuse è maggiore di m. 5,85, si rende malagevole e pigro il giuoco delle porte, e quindi si ritarda eccedentemente il tragitto delle barche. Si fissa dunque per massima, che le chiuse de'sostegni non abbiano generalmente ad essere larghe più di m. 5,85, per quanto maggiore possa essere

---

(1) *Memoires sur les canaux de navigation, publiés par M. Navier* - Paris 1816.

la larghezza del canale. Ciò posto ne segue che le più grandi barche, dalle quali potrà essere praticato il canale, saranno al più dell'indicata larghezza: e siccome in quelle sorte di barche, che sono destinate alla navigazione de' canali ha pur mostrato l'esperienza che, onde sieno agili al moto, la lunghezza deve essere quintupla della larghezza, così le maggiori barche, da cui si può supporre percorso il canale, avendo al più la prefata larghezza di m. 5,85, saranno altresì lunghe non più di m. 29,25. Affinchè poi il cratere sia capace di contenere barche di tale lunghezza, egli è d'uopo che la sua estensione longitudinale fra le due chiuse sia tanto maggiore della lunghezza stessa della barca, per quanto si estende il tratto, che viene imbarazzato dalle porte della chiusa inferiore, allorchè si aprono, cioè prossimamente la metà della larghezza della chiusa, vale a dire circa m. 3 al più. Si conclude che la massima lunghezza, che potrà convenientemente assegnarsi al cratere d'un sostegno sarà di m. 32 circa. E quando la larghezza delle chiuse volesse tenersi minore del limite ora fissato di m. 5,85, chiaramente apparisce come dalla stabilita larghezza si dovrebbe in ogni caso dedurre la lunghezza del cratere, vale a dire la distanza fra le due chiuse del sostegno.

§. 751. La larghezza interna del cratere vuol essere proporzionata al numero delle barche, cui s'intende che il sostegno sia capace di contenere tutte in un tempo. Vuolsi per altro esservare, che quando il sostegno è di capacità sufficiente per una sola barca, per ciascun legno che passa si consuma la stessa quantità d'acqua, e s'impiega lo stesso tempo nel tragitto, e questo tempo è evidentemente ridotto al minimo; ma se la conca è ampia a modo che possa contenere due o tre barche, la cosa anderà ben diversamente. Poichè o che si acconsentirà di aprire senza indugio il sostegno indistintamente, sia che vi giunga un legno solo, sia che vé ne arrivino due o tre insieme, ed in tal caso quello che passa solo consumerà il doppio o il triplo d'acqua di ciascuno di quelli che passano a due a due, ovvero a tre a tre, come pure il doppio o il triplo di quella che avrebbe consumato in un sostegno capace d'una barca e non più; ed il tempo necessario pel tragitto d'una barca, sia che sola entri nel sostegno, sia che vi entri accompagnata, sarà doppio o triplo e non mai minore di quello che avrebbe importato il passaggio per un sostegno semplicemente grande abbastanza per contenere una barca: ovvero che non sarà permesso di aprire il sostegno se non che quando si saranno ad esso adunati tanti legni, quanti è capace di contenerne, ed allora avverrà bensì che la perdita dell'acqua nel passaggio delle barche non sarà nè più nè meno di quella che si avrebbe in un sostegno adattato per una sola barca, ma non per questo si eviterà il soverchio perditempo del tragitto, il quale

sarà anche maggiore, che nel caso precedentemente considerato, pel ritardo che nascerà dal doversi arrestare le barche al sostegno, finchè se ne sia raccolto un numero corrispondente alla capacità del cratere. Si vede adunque che in ogni modo i grandi sostegni atti a contenere più barche sono contrari ed all'economia dell'acqua, ed alla speditezza della navigazione; e che quindi il buon sistema d'un canale navigabile richiede che i suoi sostegni sieno di grandezza non maggiore di quella che abbisogna, affinchè in ciascuno di essi possa capere una barca, è non oltre. In conseguenza di ciò la larghezza del cratere dovrà perfettamente corrispondere alla larghezza di ciascuna delle due chiuse, la quale abbiamo testè veduto fino a qual limite possa essere convenevolmente estesa. (§. 750). E si deduce altresì, che supponendo i sostegni d'un canale navigabile costituiti corrispondentemente alle proporzioni, che abbiamo fissate, la maggiore prontezza de' trasporti, e la maggior economia dell'acqua, risulteranno dall'uso di barche perfettamente adattate alla grandezza de' sostegni.

§. 752. Assegnando al cratere una larghezza costante fra l'una e l'altra chiusa esso assume una forma rettangolare. Qualunque altra forma è manifestamente contraria all'economia dell'acqua, alla speditezza della navigazione, alla facilità ed all'economia della costruzione. Nè sapremmo rinvenire alcuna fondata ragione, che possa giustificare l'uso, che regnò ne' passati tempi, come si osserva in molti de' nostri canali navigabili, di fare le conche de' sostegni di forma ovale, e quindi lateralmente concavi, ed alquanto più larghe nel mezzo, che nelle due estremità.

La fig. 305 mostra la pianta, e la sezione longitudinale d'un sostegno, che ha il cratere di forma rettangolare. Nella fig. 310 si offre l'icnografia d'uno de' sostegni del nuovo canale navigabile di Pavia, i quali hanno il bacino leggermente concavo ne' due lati. Questi tipi serviranno a facilitare la comprensione di quei più minuti ragguagli, che dobbiamo aggiungere, intorno alla forma, alla disposizione, e agli uffici delle varie parti, che costituiscono la fabbrica d' un sotegno.

§. 753. Ordinariamente le parti materiali d'un sostegno non comprendendovi ora le porte, le quali appartengono alla classe de' lavori di legname, e di cui abbiamo già diffusamente trattato nel precedente libro (§. 361 e seg.), sono 1°. la platea $PP$ (fig. 305); 2°. i muri di sponda $AAA$, $AAA$, che diconsi anche muri laterali; 3°. le spalle d'accompagnamento, cioè le superiori $B$, $B$, e l'inferiori $C$, $C$; 4.° i muri d'ala, de' quali $E$, $E$ sono i superiori $F$, $F$, gl'inferiori; 5.° il muro di caduta $Q$; 6.° finalmente le soglie delle porte. Esaminiamo rapidamente a quali funzioni siano destinate queste diverse parti, e da quali

condizioni debbano dedursi le individuali loro forme e dimensioni.

§. 754. È assolutamente indispensabile, che l'edificio sia piantato sopra una buona platea generale (§. 576), qualunque sia l'indole del fondo sottoposto; e ciò principalmente per ottenere la perfetta unione di tutti i muri alla base comune, e lo scambievole concatenamento di tutte le parti, onde il sistema ne acquisti la più sicura stabilità. Ove il fondo sia di buona consistenza basta di assegnare alla platea una grossezza di circa m. 0,80: quanta appunto ne fissava il Montanari per la platea d'un sostegno in un canale navigabile del Friuli, intorno al quale esso scriveva verso la fine del secolo decimosettimo (1). Maggior grossezza sarà necessaria sui fondi cattivi, ove di più potranno occorrere o la palificazione, o una vasta piattaforma, in conformità delle circostanze, a norma delle massime generali spiegate nel cap. V. La figura, e le dimensioni orizzontali della platea dipendono da quelle della vasca del sostegno, di cui essa deve costituire il fondo artificiale, e sporgere all'intorno m. 0,60 almeno dal vivo esterno de'muri di sponda.

§. 755. I muri di sponda, che formano le fiancate del cratere, debbono farsi tanto alti, che sopravvanzino di cinque o sei decimetri il livello, a cui il buon sistema del canale porta che si mantengano le acque nel tronco superiore. E siccome importa che essi sieno validi a resistere alla pressione, che contro di essi esercita l'acqua contenuta nel bacino, quando si livella con quella del tronco superiore, così converrà assegnare ad essi una grossezza uguale alla metà della totale altezza loro sulla platea, diminuita di quei cinque o sei decimetri, che come si è detto debbono emergere dall'acqua; se pure per maggior sicurezza non si volesse far conto che l'acqua interna s'innalzasse fino alla loro sommità, e quindi assegnare ad essi una grossezza uguale alla metà della loro altezza totale, senza la prefata deduzione (§. 641). Giova di conformare questi muri esternamente a scarpa, onde ottenere in essi uguale resistenza sotto un minor volume del muro rettangolare; ed in tal caso fissata la scarpa, ovvero stabilita la grossezza del muro in sommità, sappiamo, per quanto fu veduto nel capo VII, come poter determinare le altre dimensioni della sezione del muro, affinchè il suo momento di resistenza sia uguale a quello d'un muro rettangolare della stessa altezza, ed avente una grossezza uguale alla metà della propria altezza, corrispondentemente a ciò che abbiamo poc'anzi stabilito. Maggior vantaggio

(1) Zendrini. *Acque correnti*. Cap. XII §. XVII.

può anche trarsi dall'uso di contrafforti esterni. Vuolsi per altro avvertire, che diminuendo eccedentemente la grossezza de' muri di sponda, quand'anche non si incorresse in un difetto di resistenza, si correrebbe però rischio che andassero soggetti a trapellamenti d'acqua. Per la qual cosa in Francia è prescritto che la grossezza delle fiancbate de' bacini non abbia mai, nè in verun punto, ad essere minore di m. 1,30. Ma sì fatta prescrizione appartiene al caso in cui le masse di tali muri sono di una struttura non bene adatta a potersi schermire dalla forza penetratrice dell'acqua; nel qual caso è d'uopo di fare argine al minacciato disordine inserendo nel bel mezzo de'muri di sponda, per quanto sono lunghi ed alti, un'anima di muramento impermeabile, o come diceasi *a stagno*; il quale potrà essere formato o di un buono smalto a prova d'acqua, ovvero di due o tre teste di mattoni murati con una malta idraulica. Ma quando le fiancate sono interamente ed accuratamente costrutte di mattoni, come veggiamo nella maggior parte dei nostri sostegni, svanisce il pericolo delle filtrazioni (§. 602), e basta allora di assegnare ad esse quella semplice grossezza, che si richiede onde valgano a far fronte alla pressione del fluido, quand'anche fosse minore dell'accennato limite di m. 1.30. Internamente i muri laterali debbono necessariamente essere verticali fino al pelo infimo dell'acqua, al di sotto del quale potrebbero poi avere un profilo inclinato a seconda della conformazione esterna de' fianchi delle barche, come si è praticato ne' sostegni di qualche canale navigabile della Francia; il che gioverebbe a rendere più saldo l'edificio nella sua base.

§. 756. I muri laterali sono alquanto protratti oltre la chiusa superiore, e la chiusa inferiore, e tali protrazioni costituiscono i muri di spalla, chiamati anche *spalle d'accompagnamento*. Quelle che stanno all'entrare dell'acqua diconsi spalle superiori, ed il breve tratto di canale che comprendono si chiama la *camera delle portine*. L'altre, che sono all'uscir dell'acqua, dicousi spalle inferiori. L'ufficio, a cui sono destinate le spalle superiori, si è di servir d'appoggio alle portine allorchè sono aperte, e di ritener l'acqua, onde non s'insinui filtrando dietro le fiancate della vasca. Le spalle inferiori sono dirette ad opporre una valida resitenza alla spinta, che l'acqua esercita contro i portoni, e che riportandosi contro l'estremità inferiori dei muri laterali, potrebbe strapparli, e rovesciar quindi tutta la chiusa inferiore, qualora l'estremità minacciate non fossero sostenute dai detti muri di rinforzo.

§. 757. Le spalle superiori sono premute da un corpo d'acqua di minor altezza di quello, che preme i muri laterali del bacino, onde potrebbe bastare una minor grossezza a renderle atte a resistervi. Tuttavia, siccome

importa d'assicurare che non vadano soggette alle filtrazioni, così è solito d'assegnarsi ad esse la stessa grossezza, che si dà ai muri laterali. La lunghezza loro suol farsi uguale alla metà della larghezza della chiusa, più m. 0,50, affinchè possano esse appunto come si è detto prestare un appoggio continuato alle portine allorchè sono aperte, e talvolta si estendono anche davvantaggio, ad effetto che presso le loro estremità rimanga posto sufficiente a formarvi gl'incastri verticali per una travata (§. 358) da potersi stabilire nel canale avanti il sostegno, onde impedire l'accesso all'acqua, nel caso di dover eseguire qualche ristauro intorno alla chiusa superiore, ovvero alle sue portine. Nella faccia anteriore di ciascuna di queste spalle superiori si pratica una nicchia, o incassatura rettangolare, ove possa ricoverarsi la portina, che da quel lato si schiude, onde quando è aperta non rimanga ad ingombrare la camera, e ad impacciare il passaggio delle barche. Somiglianti nicchie per lo stesso fine s'incavano presso l'estremità inferiori de'muri laterali per ricovero de' portoni. Quella parte del bacino, a cui si estendono quest'ultime nicchie, si chiama la *camera de'portoni*.

§. 758. Le spalle inferiori sono ben poco esposte alla pressione immediata dell'acqua, la quale non s'innalza a bagnare le loro fronti, se non che per quanto se ne può elevare il livello nel canale inferiore. Debbono esse bensì sostenere il terreno, che posteriormente le preme; e conviene perciò che abbiano una grossezza corrispondente a quest'ufficio, onde generalmente in pratica può stabilirsi che debbano essere grosse la terza parte della loro altezza (§. 636). La lunghezza di cotesti muri vuol poi essere desunta dal principale loro scopo, che, come dicemmo (§. 756), si è quello di resistere alla spinta ch'esercitano lateralmente contro di essi i portoni, premuti dalla massa fluida, di cui si suppone ricolmo il cratere. Ora immediatamente si scorge che i due muri di spalla debbono unitamente avere un momento di resistenza uguale a quello che si richiederebbe in un muro trasversale, e verticale, che dovesse essere posto in cambio de'portoni a sostenere la massa fluida all'estremità inferiore della vasca. Se dunque chiamiamo $a$ l'altezza comune de' portoni, o sia del detto muro ipotetico, e de'due muri di spalla, e $b$ la larghezza della chiusa, poichè è noto (§. 641) al primo competersi una grossezza uguale alla metà della sua altezza, cioè $= \frac{a}{2}$; per lo che risulta il suo momento $= \frac{G a^3 b}{8}$, esprimendo $G$ la gravità specifica del muramento; dovrà questo esser anche il momento de'due muri di spalla presi insieme. Chiamiamo $x$ la cercata lunghezza $B\,G$ (fig. 306)

di ciascuna delle due spalle, la di cui grossezza, $BC$, come abbiamo osservato, deve farsi $= \frac{a}{3}$; e stabiliamo per ipotesi che per la spinta de' portoni tenda la spalla $BF$ ad aprirsi in un piano verticale condotto per la diagonale $BD$ del rettangolo $BCDE$, il di cui lato $BE$ è doppio dell'altro $BC$, cioè della grossezza della spalla stessa. In tale supposizione la parte resistente della spalla $BDFG$ è composta di due solidi, uno prismatico triangolare insistente alla base $BED$, il di cui momento relativamente alla linea $FG$ è $= \frac{Ga^3}{9}\left[x - \frac{4a}{9}\right]$, l'altro parallelepipedo giacente sulla base $DEGF$, il momento del quale è $= \frac{Ga^2}{2.3}\left[x - \frac{2a}{3}\right]^2$. Laonde il totale momento con cui ciascuna spalla resiste alla spinta de' portoni è

$$\frac{Ga^2}{3}\left(\frac{x^2}{2} - \frac{ax}{3} + \frac{2a^2}{3.9}\right);$$

e dovendo il doppio di questo essere uguale al momento del muro verticale tirato fra gli stipiti de' portoni, ne nasce l'equazione

$$x^2 - \frac{2ax}{3} + \frac{4a^2}{3.9} = \frac{3ab}{8}$$

dalla quale si ricava $x = \frac{a}{3} + \sqrt{\left(\frac{3ab}{8} - \frac{a^2}{27}\right)}$, che sarà il valore della lunghezza da assegnarsi ai muri inferiori di spalla. E questo tanto più sarà valido ad assicurare la stabilità della chiusa inferiore, che nel determinarlo non si è tenuto alcun conto della tenacità del solido murale, nè di quella maggiore grossezza, che acquistano le spalle in grazia de' contrafforti, che, come or ora vedremo, sogliono applicarsi dietro agli stipiti de' portoni, nè finalmente dell'aiuto, che ricevono le spalle stesse dai muri d'ala, che si congiungono alla loro estremità, de' quali in breve ci faremo a parlare. Ed anche maggiore sarà la stabilità per quel riguardo cui ora è rivolto il nostro discorso, se dall'una all'altra spalla sarà gittata un'arcata, come spesso si pratica, a fine di stabilire un ponticello di passaggio dall'uno all'altro fianco del sostegno,

specialmente a comodo di coloro, che sono addetti a regolarne l'esercizio.

§. 759. Alla congiunzione delle spalle superiori ed inferiori coi muri laterali sogliono stabilirsi dalla parte esterna robusti contrafforti, come appunto si osserva nella già citata fig. 305. Giovano questi a rendere più saldi gli stipiti della chiusa contro la spinta laterale de' portoni (§. 367); e sono altresì opportuni ad infiggervi saldamente que' bracci di ferro, ovvero quelle travi, che compongono l'armature de' cardini superiori delle portine, e de' portoni (§. 363), e ad offrire sulle loro sommità delle spaziose piazzette, comode per l'esecuzione delle manovre necessarie per l'aprimento e pel chiudimento delle porte. Dalle particolari ciscostanze si prende norma a fissare la conveniente grossezza di cotesti contrafforti, conforme la maggiore o minor importanza de' vari fini testè accennati.

§. 760. I muri d'ala superiori sono destinati a ristringere gradatamente il canale presso la chiusa superiore, e gl'inferiori ad allargarlo pure gradatamente al di là della chiusa inferiore. Sogliono stabilirsi l'ale in una direzione tale, che formi un angolo di circa 50° coi prolungamenti delle spalle. La lunghezza di esse viene così ad esser data, date che siano la larghezza del canale, e quella delle chiuse. La grossezza dell'ale superiori dev'essere proporzionata all'altezza dell'acqua, da cui sono premute, e corrispondente al bisogno di provvedere che l'acqua filtrando per esse non abbia a disperdersi lateralmente al sostegno. Ai muri d'ala inferiori deve semplicemente assegnarsi tale grossezza, che basti a renderli atti a resistere alla spinta del terreno, cui son destinati a sostenere.

Quando il terreno delle ripe è di sua natura proclive ad essere trapelato dall'acqua, può talvolta essere conveniente di aggiungere all'ale, e segnatamente alle superiori, dei murelli entro terra, protratti verso la campagna dall'una e dall'altra parte, in direzione perpendicolare a quella delle spalle, affinchè questi impediscano all'acqua succhiata dalle ripe, e serpeggiante pei meati del terreno, d'insinuarsi a tergo delle spalle e delle fiancate del sostegno, ove sciogliendo la terra, e formando delle cavità dietro tali muri, li priverebbe di quel sussidio, che ricevevano dal terrapieno adiacente. Si assegna a cotesti muri la grossezza di 60 in 70 centimetri. A maggior garanzia si può dietro ad essi battere uno strato verticale d'argilla; e talvolta anche questo semplice strato d'argilla potrebbe bastare senza il muro, o più tosto fare le veci di questo, per disviare i fili sotterranei d'acqua dai dintorni del sostegno.

§. 761. La soglia della chiusa superiore d'un sostegno è stabilita sulla

linea del fondo del canale superiore; quella della chiusa inferiore è posta a livello del fondo del canale inferiore, e della platea, o sia del fondo del bacino salvo quel labbro prominente, che è necessario a formare i battenti orizzontali delle portine, e de portoni. Dalla soglia della chiusa superiore al fondo del cratere, ove nasce la caduta, o sia il salto del sostegno, è tirato un muro, che dicesi *muro di caduta*. Ordinariamente a fronte di questo muro si eleva verticalmente. Gioverebbe tuttavia, specialmente ne' sostegni di molta caduta, d'inclinarla a scarpa, a fine di render minore l'impressione dell'acqua scaricata dalla chiusa superiore sulla platea, tutte le volte che dopo di aver tenuto a secco il canale, per qualche tempo, come non di rado occorre, vi si mette di nuovo l'acqua, e vi si lascia correre a chiuse aperte, ed a sbocco chiuso, finchè di mano in mano i diversi tronchi, cominciando dall' infimo, siensi venuti di mano in mano riempiendo. E nullo si renderebbei evidentemente l'urto dell'acqua cadente contro la platea, se la retta inclinata, costituente il profilo anteriore del muro di caduta, terminasseinferiormente in un arco circolare tangente ad essa retta, ed alla protrazione della proiezione della retta medesima sulla superficie della platea. Ma volendo protrarre questa scarpa quanto sarebbe d'uopo per l'effetto ora spiegato, si verrebbe ad ingombrare parte del cratere, e quindi nascerebbe la necessità di aumentar la lunghezza di esso. Altronde la solidità della struttura può nelle chiuse di discreta caduta esimere la platea da quei deterioramenti, di cui l'impetuosa cascata dell'acqua farebbe temere; ed ove il salto della chiusa è più che ordinario si suol difendere la sottoposta platea con robusti tavolati, i quali possono facilmente rinnovarsi di tempo in tempo quando sono invecchiati e logori. E quindi generalmente, come già fu detto, i muri di caduta si fanno con la fronte verticale, e si assegna ad essi una grossezza uguale a quella de' muri laterali del cratere, non essendovi motivo alcuno di dargliene una maggiore.

§. 762. Alla sommità del muro di caduta è addossata la soglia della chiusa superiore, ed all'estremità inferiore del bacino è formata la soglia della chiusa inferiore. L'una e l'altra soglia debbono essere conformate a seconda dell'angolo assegnato alla capriata delle porte (§. 364 e seg.). Ordinariamente si costruiscono in pietra di taglio, e si risguardano come due piattabande supine, destinate a resistere alla spinta dei lembi inferiori delle portine e de' portoni, allorchè sono chiusi, e premuti dall'acqua. In conformità di questa massima si regola il taglio dei cunei componenti, a seconda delle regole della sterotomia. Ai lembi concorrenti delle soglie si applicano i controbattenti inferiori delle porte, i quali è ben fatto che sieno di legno, per quella stessa ragione, che

altra volta si addusse relativamente ai controbattenti laterali (§. 362), frammettendo al legno ed alla pietra delle striscie di lana inzuppate d'olio, a fine d'impedire sicuramente l'adito all'acqua per le commessure. La platea continua anche al di là della chiusa inferiore, e si estende a tutto lo spazio racchiuso dalle contigue spalle, all'estremità del quale essa finisce sostenuta e difesa da un muro $G$ (fig. 305) ripiegato al basso, cui si dà il nome di *petto della platea*, profondato più che si può del pari, che i prossimi muri d'ala, in grazia degli sconvolgimenti che possono temersi nel fondo del canale immediatamente dopo il sostegno. Ed opportunamente si suggerisce di dare a questo muro, e all'estremità della platea una forma orizzontalmente concava, come si dimostra nella figura, tracciandone la pianta secondo un arco tangente alle fronti de' muri d'ala, regolando poi la struttura del muro, come se fosse una volta supina, alla quale gli stessi muri d'ala servono di spalla. Presso la chiusa superiore lo spazio racchiuso fra le spalle, o sia la camera delle portine (§. 756) ha in fondo una platea $Q$, la di cui sommità forma la continuazione del fondo del canale superiore, e la di cui grossezza suol farsi uguale a quella della platea generale giacente al livello del fondo del canale inferiore.

§. 763. Resta ora ch'esaminiamo i vari espedienti, de' quali può farsi uso per introdur l'acqua nel cratere, e per farla passare da questo nel tronco inferiore del canale, secondo che si presenta l'occorrenza d'avere ad uno stesso livello l'acqua nel sostegno, e nell'uno o nell'altro de' due tronchi di canale, ai quali esso è interposto (§. 748) Il metodo più semplice, e più usuale si è quello delle valvole o portelli (§. 375), che diconsi anche *uscioli*, inerenti alle portine ed ai portoni. Esso ha tuttavia in sè due svantaggi: il primo che l'acqua casca con grand' impeto dai portelli della chiusa superiore nel cratere; e se non altro promove una gagliarda agitazione nella massa fluida in esso racchiusa, con incomodo, e con pericolo di danno delle barche, che trovansi dentro il sostegno: il secondo che il fluido sbocca con gran forza dalle valvole de' portoni, ed entra nel canale inferiore con moto violentissimo, irregolare, spesso anche vorticoso, onde gravissimo è il tormento, che ne risentono la platea, le spalle, l'ale, e sopra tutto il fondo naturale del canale, ove finisce la platea, per cui a lungo gioco non vanno essi essenti da più, o meno seri sconcerti. E siccome atteso l'obliquità delle porte, e la difficoltà di regolare l'efflusso de' portelli in modo, che sia contemporaneo, ed uguale dall'una e dall'altra parte, la corrente dopo il sostegno si volge obliquamente a percuotere o l'una, o l'altra ripa, così queste vengono ad esser continuamente minacciate di corrosione, ed a preservarnele è forza di mantenerle munite di adattate difese.

§. 764. Un altro espediente, anch' esso molto usitato, è quello delle *trombe*, o condotti laterali, che hanno le loro imboccature ed i loro sbocchi nelle fronti delle spalle, e delle fiancate del sostegno, e girano intorno ai lati delle rispettive chiuse. Sono questi condotti muniti alla bocca, ovvero a mezzo del loro corso, di paratoie, ovvero di valvole, più comunemente chiamate *ventole*, per cui si regola a piacimento il passaggio dell' acqua. Le trombe che servono ad empire, o come dicesi a caricare il cratere, chiamansi *trombe caricanti*; quelle per mezzo delle quali si scarica, vale a dire si vuota il bacino, diconsi *scaricanti*. Questo temperamento accresce, come ben si vede l' opere di prima costruzione, ed espone a frequenti bisogni di manutenzione. Oltre di che dà luogo esso pure all' inconveniente d' indurre delle correnti oblique nel cratere, e nel canale inferiore, d'onde derivano e un irregolare agitazione delle barche dentro il sostegno, ed il bisogno di tener difese le ripe inferiori minacciate di corrosione dalle stesse correnti, che vengono obliquamente a percuoterle. A diminuire la forza dell' acqua per entro le trombe, e allo sboccare delle medesime, utilissimo è il ripiego di ordinare le trombe stesse a modo, che la loro sezione si venga di mano in mano dilatando verso lo sbocco, siccome avvertì lo Zendrini (1) essere stato praticato in una tromba annessa al sostegno del Dolo costrutta sul fiume Brenta poco prima dell' anno 1534.

§. 765. Ai sostegni de' canali navigabili dello Charolais, e del Centro nella Francia il Gauthey mise in pratica un' ingegnosa sua invenzione, per mezzo della quale evitansi del tutto, o almeno in gran parte, gl' inconvenienti propri e dei portelli, e delle trombe laterali. Eccone in succinto la descrizione. In ciascuno de' muri superiori di spalle è aperta una celletta di forma parallelepipeda, il fondo della quale stà a livello di quello della camera delle portine. Dal basso di queste due cellette laterali partono due condotti, o tubi cilindrici, che discendendo per un tratto verticalmente, si ripiegano poi orizzontalmente uno verso l' altro fin presso il mezzo del muro di caduta, ove di nuovo si volgono verticalmente all' insù a sboccare dal fondo d'una cavità a volta, praticata nello stesso muro di caduta al piano della platea generale. Cotali tubi formano la comunicazione fra il canale superiore, ed il bacino. La disposizione di essi si comprenderà più chiaramente dalla fig.ª 308, ove si veggono la pianta dell'estremità superiore di un sostegno, in cui si suppone messo in pratica lo spiegato artificio, ed insieme le due sezioni fatte per le linee AB, CD, sulle quali sono disposti i due condotti $E, E'$ e la cavità

(1) *Acque correnti*. Cap. XII §. IX.

*O*, in cui sboccano entrambi, e per la quale l'acque si convogliano a scaricarsi nel bacino. La comunicazione fra questo ed il canale inferiore consiste in due tubi a sifone, stabiliti uno per parte ne' fianchi della chiuse inferiore, e conformati a somiglianza di quelli già descritti, costituenti le comunicazioni fra il canale superiore ed il cratere; se non che mentre quelli si ripiegano sotto il muro di caduta, ciascuno di questi giace, per metà nel muro laterale del cratere, e per l'altra metà nella spalla contigua, ove ha il suo sbocco nel fondo d'una celletta consimile a quella, che ne forma l'imboccatura nel muro laterale in vicinanza della chiusa. Nella fig<sup>a</sup>. 309 vedesi delineata la pianta del fianco sinistro della chiusa inferiore d'un sostegno, ove si suppone stabilito un sifone dell'anzidetta forma, la di cui completa disposizione si osserva nella sezione, che fa parte della medesima figura, e che s'intende presa per la linea *E F* della pianta. All' imboccatura de' tubi sono adattati de' turaccioli amovibili, col soccorso de' quali le comunicazioni dell'acque possono essere messe in atto ed interrotte, secondo le varie occorrenze. Egli è evidente, che con questo sistema l'acqua s' introduce nel bacino senza cascata: e che nè dentro il sostegno, nè nel canale inferiore può l'acqua sopravveniente generare correnti oblique, atteso che nel cratere entra l'acqua dal mezzo del muro di caduta, senza che veruna causa la stimoli a rivolgersi piuttosto dall' una, o dall'altra parte, e nel canale inferiore s'introduce bensì il fluido per due bocche laterali, ma sgorga da queste con uguali portate, con uguali velocità, e con direzioni opposte, onde l'una distrugge l'effetto dell'altra; poichè in grazia della somma facilità con cui possono esser rimossi i turaccioli de' tubi scaricanti, le due trombe chiuse possono essere aperte quasi in un medesimo istante, e perciò dipende semplicemente dall'esattezza del guardasostegno, o come volgarmente dicesi *sostegnante*, di far sì che non mai da una parte soltanto entri l'acque nel canale di sotto.

Le cellette laterali, dalle quali hanno origine, ed a cui terminano i tubi di comunicazione, possono avere la figura d'un cubo d'un metro circa di lato. Il fondo di ciascuna celletta conviene che sia formato d'una grossa lastra di pietra, nel mezzo della quale sia incavata l'imboccatura della tromba a forma d'imbuto conico, che nell'infima sezione si riduca ad avere un diametro di m. 0,65. Il tubo di comunicazione avrà così alla sua origine lo stesso diametro di m. 0,65; ma gioverà che venga gradatamente dilatandosi in appresso, onde l'acqua ne sgorghi con minor violenza (§. 764). I tubi si formano di ghisa, ovvero anche di pietra. In questo secondo caso possono esser composti di pezzi uniti a due a due, ciascuno de'quali sia apparecchiato a modo che da una parte abbia un intaglio semicircolare del fissato diametro,

onde rimanga fra essi un'apertura cilindrica, siccome si mostra nella fig^a. 309. Importa che le facce che debbono venire a contatto sieno perfettamente spianate, e che le commessure sieno saldate accuratamente con istoppa ben inzeppata, e con mastice: e che le pietre sieno vicendevolmente incatenate con arpesi di ferro. Il turacciolo destinato a chiudere l'imboccatura di ciascuno de'tubi altro non è che un ceppo di legno ridotto alla forma di cono tronco, corrispondente a quella dell'imbuto, cui deve sigillare; e nella testa di questo ceppo è infilata un'asta di ferro, che passando per un foro verticale aperto sul mezzo della celletta, entro cui può liberamente scorrere, esce e s'innalza dalla sommità della spalla superiore, ovvero del muro laterale del cratère, ove col soccorso d'un vette fisso può con somma facilità e prontezza esser alzato, quando occorre d'aprire l'adito all'acqua pel tubo. Quando poi si vuol chiudere la comunicazione, basta di lasciar cadere il turacciolo, e di dare una botta di maglio sull'estremità dell'asta, o del manico, a cui esso è appeso; e la pressione dell'acqua lo tien quindi saldo al suo posto, finchè occorra di nuovo di averlo a sollevare.

§. 766. Il buon regime de'canali navigabili richiede che superiormente a ciaschedun sostegno sia un sfogatoio laterale, pel quale le acque entrando in un canale, che dicesi *scaricatore o diversivo*, vadano per questo a sboccare nel tronco inferiore al sostegno. Lo sfogatoio o che ha il suo incile elevato di tanto sul fondo del canal naviglio, che non possono per esso scaricarsi le acque di questo, se non che quando oltrepassano quell'altezza, che è necessaria per la navigazione; o che va munito di paratoie da potersi regolatamente aprire, per sottrar dal canale navigabile più o meno acqua, secondo l'occorrenze, e divvertirnela anche tutta, se per qualche circostanza si rende necessario di tenere per qualche tempo inoperoso e vuoto il sostegno. Ma ordinariamente è disposta l'imboccatura dello scaricatore a modo di dare spontaneamente scarico alle acque, quando soprayvanzano una determinata altezza, mediante una soglia scaricatrice cui si dà il nome di *sfioratore*, e di potervi anche immettere l'acque più basse mediante opportune bocchette a paratoie, ovvero a ventole. Prescindendo dal bisogno di dover di tempo in tempo sospendere l'esercizio de'sostegni nelle occasioni di farvi qualche riparazione; al quale in alcuni canali può provvedersi con toglier l'acqua alla loro origine; l'importanza degli scaricatori generalmente consiste nell'impedire che le acque s'innalzino ne'vari tronchi del canale, e alle spalle delle portine de'sostegni, più di quello che abbisogna per la navigazione, onde non si accresca inutilmente il tempo necessario ad empire le conche, e a far passare per esse le barche; senza togliere che possano aver corso continuato pel canale quell'acque, che sono bensì

superflue per la navigazione, ma che talune volte è forza che sieno ricevute dal naviglio per mancanza d'altro opportuno recipiente, ed alcune altre volte appositamente vi s'introducano destinandole o all'irrigazione delle campagne, ovvero al movimento de'molini o d'altri ordigni meccanici. In diversi canali navigabili della Lombardia si è giudiziosamente praticato di porre lo scaricatore a fianco del sostegno, ordinando a bella posta l'edificio in un sistema per qualche particolarità diverso da quello de'sostegni ordinari, sui quali si sono aggirate le precedenti nostre considerazioni. Con che si è conseguito il vantaggio e di porre lo scaricatore a portata di essere con prontezza regolato, a seconda delle varie occorrenze, da colui medesimo che è addetto alla cura del sostegno, e di mettere in opera un artificio assai semplice ed acconcio per le comunicazioni del cratere coi due contigui tronchi del naviglio. A fine di far conoscere agli studiosi cotesta particolare disposizione, ci faremo a descrivere succintamente uno de'sostegni del nuovo canale navigabile di Pavia, giovandoci de'tipi forniti dal Bruschetti nella sua istoria dell'opere pregettate ed eseguite per la navigazione interna del Milanese.

§. 767. La figura 310 dimostra l'icnografia del sostegno: le figure 311, 312, 313, 314, 315, 316 gli spaccati ortografici dell'edificio sulle linee $AB$, $CD$, $EF$, $GH$, $IK$, $LM$. A destra del bacino $X$ corre il condotto scaricatore $Y$, cui la fiancata destra del bacino stesso, serve di sponda sinistra. La platea dello scaricatore per un tratto adiacente alla chiusa superiore è presso a poco a livello del fondo della camera delle portine; quindi per un tratto successivo si abbassa formando un piccolo salto; e discende finalmente, mediante tre scaglioni, a livello della platea interna del sostegno, come particolarmente si osserva nella fig. 312. L'imboccatura dello scaricatore è libera; e libero è pure il suo sbocco lateralmente ai portoni della conca; ma nel mezzo del suo corso è stabilita una traversa $ee$ armata di ventole, per cui può regolarsi a piacimento lo scarico dell'acqua, essendo sullo scaricatore stabilito quivi un ponticello $f$, per potere dalla sommità di esso aver comodo di maneggiare le ventole. S'introduce l'acqua nel bacino per le bocche caricanti $m$, $m$, aperte nel muro che separa il bacino stesso dallo scaricatore, presso il fondo d'un pozzo profondato fino a livello della platea interna del sostegno; e si fa uscire dal cratere per le bocche scaricanti $n$, $n$, $n$, che la ritornano nello scaricatore, e per esso nel tronco inferiore del canale. A ciascuna bocca caricante o scaricante è applicata una ventola cilindrica mobile intorno ad un'asse verticale mediante il gioco d'un'asta $d$, comunemente chimata *tornello*, presso la cui sommità è fissato un manubrio orizzontale. Il cilindro ha un pertugio

diametrale, di luce corrispondente a quella della bocca, a cui è adattato, e con le sponde interne accomodate alla contrazione della vena fluida effluente; ed è quindi disposto a schiudere o ad impedire il varco all'acqua, secondo che vien girato a modo di rivolgere verso la bocca o il predetto pertugio, ovvero i suoi fianchi ripieni. È questo un nuovo ingegnoso artifizio, preferibile all'ordinarie ventole in bilico, dette anche a palmette, poichè è più obbidiente e pronto al movimento; offre inoltre uno sfogo affatto libero all'acqua, mentre nelle ventole a palmette rimane sempre nel mezzo della luce l'impedimento del tornello, intorno al quale le palmette stanno in bilico; finalmente la ventola a cilindro, aperta che sia, non può come quella a palmette essere improvvisamente rinchiusa dagl'irregolari impulsi dell'acqua, che si affolla ad incanalarsi per l'orificio. È da notarsi il diaframma di legname *b* stabilito verticalmente nel cratere fino all'altezza della soglia della chiusa superiore; il quale serve a sedare l'agitazioni dell'acqua, onde non si estendano nella parte inferiore del cratere, ove prendono posto le barche. Immediatamente dopo la chiusa inferiore vedesi il ponte *zz*, che con due arcate trapassa il canale scaricatore ed il sostegno, e tiene così in comunicazione le due sponde del canale.

§. 768. Nulla abbiamo detto intorno all'altezza della caduta da assegnarsi ad un sostegno, dalla quale dipendono manifestamente le altezze delle diverse parti dell'edificio. Ma ne' canali navigabili vogliono le cadute de' vari sostegni essere moderate intuitivamente non tanto all'edificio della conca in particolare, quanto al generale buon sistema del canale per la prosperità della navigazione. Sul quale articolo invitiamo gli studiosi a riassumere quelle dottrine fondamentali, che con tanta semplicità, e sottigliezza furono sviluppate dal Venturoli ne' suoi elementi (1). La massima pendenza che puossi convenientemente assegnare al fondo di un canale navigabile, ove le barche debbano esser tirate ad alzaia, è di m. 0,50 per mille metri (2). Quando la totale caduta del canale dalla sua origine allo sbocco è tale, che ne risulta una pendenza maggiore dell'indicato limite, è d'uopo di detrarre dalla caduta totale quel tanto, cui corrisponde sulla intera lunghezza del canale una pendenza del 0,50 per 1000, e ciò che rimane fissa la somma delle cadute de' sostegni, da distribuirsi opportunamente lungo la linea. Ora, per quanto spetta all'edificio del sostegno, è noto che

(1) Vol. II lib. IV cap. IX.
(2) Sganzin - Lezione XXII.

il termine della maggior convenienza sta nell'assegnare a ciascun sostegno una caduta non maggiore di m. 3. E quindi col dividere per m. 3 la differenza testè accennata fra la caduta reale del canale, e quelle a cui sulla lunghezza di esso corrisponde la pendenza del 0,50 per 1000, il quoziente esprimerebbe il numero de' sostegni occorrenti per equiparare l'eccesso della caduta, fissato il salto di ciascuna conca dell'altezza di m. 3. Ma alcune volte accade, che il numero de' sostegni in tal guisa determinato esigerebbe che fossero essi collocati così poco distanti l'uno dall'altro, che per la poca lunghezza di ciascuno, o di alcuno de' tronchi del naviglio, si abbassasse in esso di troppo il livello dell'acque per la sottrazione di quella quantità, che abbisogna a riempire il cratere del prossimo sostegno, a segno che non vi rimanesse il fondo vivo necessario per la navigazione. In simili casi conviene diminuire il numero dei sostegni a modo che i tronchi del canale divengano abbastanza lunghi, perchè non possa aver luogo il prefato inconveniente; onde accade poi che minorato il loro numero, deve necessariamente accrescersi la caduta di ciascuno de' sostegni. Che se non si voglia per conto alcuno accresciuta la cascata in verun sostegno, si potrà tuttavia schivare il difetto dell'acqua ne' vari tronchi del canale, mantenendo quel numero di sostegni ch'è necessario acciocchè ognuno di essi abbia la caduta di m. 3 e non più; purchè si abbracci l'espediente dei sostegni accoppiati o sia *accollati*, onde rendendosi minore il numero dei tronchi, ne' quali è divisa tutta la lunghezza del canale, si accresca la lunghezza loro, a segno tale che, per la diminuzione dell'acqua prodotta in ciascuno di essi all'empirsi del cratere al prossimo sostegno inferiore, non abbiano a restar incagliate le barche, finchè venga risarcita dall'introduzione di nuovo fluido allo scaricarsi del sostegno superiore. Accollati diconsi due sostegni contigui, quando la chiusa inferiore dell'uno serve di chiusa superiore all'altro, di modo che si formano due cadute una immediatamente dopo l'altra, senza che intermedio rimanga un tronco di canale, come succede fra due sostegni isolati. Possono anche disporsi uno presso l'altro più di due sostegni accollati, e nella storia dell'arte si ha esempio per fino di sette sostegni accollati, cioè posti di seguito uno all'altro, in guisa che le barche, per discendere dal tronco superiore al tronco inferiore del canale, debbono consecutivamente passare per sette conche. Al nuovo canale di Pavia i sostegni hanno cadute diverse comprese tutte fra i limiti di 2 e di 5 metri; ed avvi due coppie di sostegni accollati, ciascuno dei quali ha un salto di m. 3,80, e quindi con ciascuna di esse coppie il fondo del canale si abbassa di m. 7,60; caduta che sarebbe stata troppo forte per un sostegno isolato.

## CAPO XIII.

### *Altri edifizi destinati al regolamento e alla condotta dell'acque.*

§. 769. D'alcune altre specie d'edifici d'opera murale, più frequenti nell' idraulica architettura, e che si destinano alla condotta ed al regolamento dell' acque, a benefizio dell' agricoltura, del commercio, e delle produzioni dell' umana industria, ovvero semplicemente ai bisogni, ed ai comodi più ordinari della vita, ci basterà di esporne brevissimamente i fini e le forme particolari; poichè dai generali insegnamenti, che furono premessi intorno alla struttura ed alla stabilità de'muri, e da quelle speciali applicazioni che ne furono fatte alle costruzioni de' ponti, e dei sostegni, possono gl' intelligenti architetti trar norma per procedere con sicurezza in qualunque altra sorta di murali costruzioni. Saranno dunque materia delle presenti nostre elementari considerazioni 1°. i *ponti canali*, 2°. le *botti o trombe* sotterranee, 3°. le chiuse, che diconsi anche stramazzi o pescaie (§. 355), 4°. finalmente le *chiaviche*.

§. 770. Sotto il nome di ponte canale s'intende un alveo artificiale, sostenuto da un sistema d' arcate e di pile, per cui s'incanala una corrente d' acqua, onde farle traversare una corrente più bassa, dalla quale vogliasi tener disunita; ovvero a fine di tradurla per un paese basso, sul quale vogliasi tenere elevata, sia per mettere a profitto la sua caduta a pro di qualche meccanico edifizio, sia acciò possa far capo a luoghi elevati, ove si voglia erogar per fontane, per irrigazioni, o per altri usi. La forma d' un ponte canale è quella stessa d'un ponte ordinario, in cui per altro in vece de'parapetti occorrono due muri laterali, o di sponda, alti e grossi in proporzione del corpo d'acqua che debbono contenere, e di cui debbono sopportar la pressione. Sogliono ordinariamente costruirsi dei ponticanali per condurre piccioli corsi d'acqua, destinati all'irrigazione delle campagne; e talvolta si fanno di legno, ed altro non sono in tal caso che docce formate di tavole o di fusti d'albero incavati, e sostenute per mezzo di semplici pali, o di cavalletti di legname piantati sulle sponde e nel fondo dell' alveo che devesi traversare, ovvero nel suolo sul quale il condotto si vuol tenere elevato. Gli acquedotti che portano sopra terra le acque ad alimentar le fontane nella città, ed in altri luoghi abitati, altro non sono in sostanza che ponticanali di lunghissima estensione, nei quali l' alveo o canale superiore, per cui scorre l' acqua, è ordinariamente coperto a volta, ovvero a grandi lastre di pietra. L'antica grandezza di Roma risplende negli innumerabili acquedotti, di cui ammiriamo oggidì i superbi vestigi sparsi per ogni dove nella campagna romana. Eravene

taluno a più ordini sovrapposti d'arcate, che in certi punti portavano l'acqua alta sopra terra più di m. 30. Le dimensioni dello *speco*, vale a dire del canale coperto, che comunemente dicesi *bottino*, erano in ciascun acquedotto proporzionate al volume dell'acqua, che doveva scorrervi. Uno stesso acquedotto era portatore per tre specbi distinti, e posti a varie altezze, di tre acque diverse, cioè dell'acqua Giulia, della Tepula, e della Marcia: ed è quello di cui il Fabretti (1) delineò la sezione trasversale, quale si offre nella fig. 317. Gli avanzi di esso esistono alla porta detta di s. Lorenzo, come vedonsi nella fig. 318. Per lo speco superiore correva l'acqua Giulia, per quello di mezzo la Tepula, per l'infimo la Marcia. Nè solo intorno alla capitale dell'impero, ma eziandio nelle lontane provincie, spiegarono i romani la loro grandiosità in opere di questo genere; e ne fanno fede singolarmente gli imponenti avanzi degli acquedotti di Lisbona, di Segovia, di Nimes, e di Metz, che giustamente si annoverano fra i più maravigliosi monumenti degli antichi secoli. Fra gli acquedotti de' moderni tempi merita particolar menzione quello di Caserta, opera famosa del Vanvitelli, eretto nella metà del trascorso secolo; il quale è a tre ordini d'arcate di m. 6,50 d'apertura, e sui punti più bassi del paese che traversa si eleva poco meno di m. 45.

Rari sono gli esempi di grossi corsi d'acqua fatti passare per mezzo di ponti canali sopra altre correnti: e rammenteremo semplicemente quello riferito dallo Zendrini (2), ed è il canale navigabile denominato d'Este, il quale alla Battaglia, luogo non molto distante da Padova, traversa sopra un ponte canale, largo poco meno di m. 5, l'alveo comunemente detto della Rivella.

§. 771. Si dà il nome di botte a tromba sotterranea ad un edificio, il quale traversa per di sotto l'alveo di un fiume o di un canale, e per cui trapassa un corso d'acqua, sia che questo per la bassezza del suo livello non possa essere introdotto a sboccare nell'alveo anzidetto, sia che per qualsivoglia riguardo di utilità o di convenienza vogliano le due correnti tenersi disunite. La tromba è essenzialmente composta d'una platea, che costituisce il fondo del canale sotterraneo, di due muri laterali o di sponda, e d'una volta superiore, ovvero d'una copertura a grandi lastre di pietra. Il profilo longitudinale del fondo della botte può essere retto, ovvero concavo: non per altro ad arbitrio, ma

(1) *De aquis et aquaeductibus veteris Romae* · Dissert. I.
(2) *Acque correnti* · Cap. XII §. XLI.

a seconda della maggiore o minor elevazione del fondo del fiume o del canale sopra il letto della corrente, che dev' essere condottata per la botte. Nel primo caso la botte dicesi *retta*, nel secondo dicesi *concava* ovvero a *sifone*. La direzione del canale sotterraneo, l' ampiezza della sua sezione, le posizioni rispettive delle soglie all' entrare ed all' uscire dell' acqua, e la massima insenatura verticale della platea, debbono necessariamente dipendere dalle particolari circostanze delle due correnti, che s' intersecano. Quando la botte è retta, in sostanza altro non è che un' arcata, o sia una volte a botte, sostenuta dai suoi muri laterali, che fanno l' ufficio di spalle, come in un ponte ad una sola arcata, e contengono inferiormente una platea, che costituisce il fondo del condotto. Ma nelle botti concave o a sifone il profilo longitudinale della platea, e così pure quello della volta, s' incurva o si ripiega sotto il letto del fiume o canale da traversarsi, e può quindi stabilirsi, o in linea curva, come comunemente si praticava in addietro, ovvero a tratti rettilinei facienti gomito, come si preferisce dai moderni costruttori, e come appunto si è usato nell' ultime botti, che si costruirono sotto il nuovo canale ticinese, di cui a lume degli studiosi esibiamo la pianta nella fig. 313, la sezione longitudinale per la linea $AB$ nella fig. 320, e due sezione traversali fatte per le linee $CD$, $EF$ nelle fig. 321, 322 Secondo cotesta conformazione la botte è distinta in tre tratti, uno di mezzo orizzontale, basso quanto abbisogna per sottopassare al fondo del canale, e due laterali inclinati, che sono come i due bracci del sifone, pei quali l' acqua discende da un lato sotto il letto del canale, e risale dall' altro per proseguire il suo corso in un alveo regolare.

§. 772. La grossezza della platea d' una botte sotterranea vuol essere proporzionata alla qualità del fondo, sul quale dev' essere piantato l' edificio. I muri laterali o di sponda abbiano quella grossezza che ad essi compete come spalle della volta (§. 684), con un aumento uguale alla metà della loro altezza, in grazia della spinta dell' acqua, cui pure debbono resistere (§. 641 ). Alla volta dev' essere assegnata tale grossezza, per cui essa si rende valida a resistere stabilmente alla pressione interna dell' acqua, che tenderebbe ad ismuoverla.

Intendasi rappresentata nella fig. 323 la metà d' una sezione trasversale della botte sotterranea, essendo $MNPD$ la sezione del muro di sponda, $PDAV$ quella della semivolta, e segnando la linea $NO$ il fondo della botte, e la linea $EF$ il livello esterno dell' acqua ai due capi della botte medesima. Indaghiamo primieramente quale sia il valore, e quale la direzione della spinta, che la massa fluida esercita sull' intradosso $ACD$. Facciamo perciò $DE = a$, $AE = b$, $AF = h$; e

chiamiamo $x$, ed $y$, le coordinate $AB$, $BC$ di qualsivoglia punto $C$ della curva intradossale. Corrispondentemente ai principii idrostatici sarà la spinta elementare nel punto $C$ espressa da $(h+x)\,ds$, rappresentando $ds$ l'archetto elementare della curva $ACD$; e la direzione di questa spinta sarà rivolta secondo la normale alla curva nel punto $C$, onde farà con l'asse delle $y$ un angolo, la di cui tangente sarà espressa da $\frac{dy}{dx}$. Conseguentemente l'anzidetta spinta elementare si risolve in due, una diretta secondo le $x$, l'altra secondo le $y$, rispettivamente uguali la prima ad $(h+x)\,dy$, la seconda ad $(h+x)\,dx$. Quindi si rende manifesto che tutto l'intradosso $ACD$ sarà stimolato da due forze agenti una secondo le $x$, vale a dire verticalmente, l'altra secondo le $y$, o sia orizzontalmente, delle quali la prima sarà $X=\int(h+x)\,dy$, la seconda $Y=\int(h+x)\,dx$. Oltre di che, per le formole meccaniche del centro delle forze parallele (1), chiamando $M$ la distanza della linea, per cui è diretta la forza $X$, dall'asse delle $x$, cui essa è parallela, ed $N$ la distanza della direzione della forza $Y$ dall'asse delle $y$, cui parimenti questa è parallela, si avrà

$$M=\frac{\int(h+x)\,y\,dy}{\int(h+x)\,dy},\qquad N=\frac{\int(h+x)\,x\,dx}{\int(h+x)\,dx}.$$

Ora possiamo considerare che le due forze $X$, $Y$ tendano a sollevare la semivolta $PDAV$, facendola girare intorno al punto $P$. Ciò posto i respettivi momenti delle due forze spingenti si rendono immediatamente noti pei risultati testè ottenuti; ed è poi facile a vedersi che la semivolta vi resiste con un momento uguale al prodotto del proprio peso, accresciuto di quello del terreno sovrincombente, per la distanza del centro di gravità di tutta la massa resistente dalla verticale che passa pel punto $P$. Quindi si ricaverà l'equazione dell'equilibrio, per mezzo della quale, quando sia nota la forma dell'estradosso potrà essere determinato il valore della grossezza $AV$ della volta alla chiave. E se questa determinazione verrà fatta per la sezione trasversale infima della botte, la grossezza che ne risulterà sarà sufficiente ad assicurare l'equilibrio anche in tutte le altre sezioni.

§. 723. Dicemmo nel libro primo (§. 355, 356) qual sia l'ufficio delle

---

(1) Venturoli Vol. I lib. I cap. VI.

grandi chiuse, denominate anche pescaie, e stramazzi, o quali le particolarità essenziali della disposizione e della forma di esse. Il nucleo o sia la massa interna dei muri componenti l'edificio, cioè del corpo, del petto, e della scarpa della chiusa, e così delle due spalle, con le quali essa si unisce alle sponde del fiume, può essere costrutto in pietrame: ma le fodere esteriori vogliono essere di struttura laterizia, ovvero in pietra di taglio. La sommità della chiusa, e così tutta la superficie del petto, e quella della scarpa, si ricuoprono con un tessuto di legname, che serve ad esso di difesa, e le preserva dai guasti che potrebbero cagionarvi i sassi o altri corpi, che l'impeto della corrente sospinge a valicare lo stramazzo.

Celebratissima in Italia è la gran chiusa, che attraversa il Reno di Bologna a Casalecchio, per divertirne l'acque in un canale, che passando per entro la nominata città, e adattato alla navigazione di colà fin dove esso ritorna a sboccare nel fiume, da cui deriva (§. 360), tiene aperta un'utilissima comunicazione col mare Adriatico, oltre i non mediocri vantaggi che reca alla città ed alla provincia siccome principio animatore di molte industriose macchine, e come dispensatore d'acque fecondatrici alle adiacenti campagne. Di codesto decantato edificio ha dato recentemente un'interessante e minuta descrizione il Masetti nelle sue notizie storiche intorno al canale naviglio di Bologna (1).

§. 774. Nell'architettura idraulica sotto il nome di chiavica s'intende una fabbrica, la quale si stabilisce all'origine, nelle sponde, ovvero allo sbocco d'un canale, in forma di chiusa da potersi tenere aperta o serrata a piacimento, sia per regolare l'introduzione dell'acque che lo alimentano, sia per moderarne lo scarico nel suo recipiente, o in qualche suo diversivo, sia finalmente per impedire che salgano per esso di rigurgito le piene del recipiente. L'edificio consiste in una soglia, la quale, se la chiavica è posta alla presa dell'acqua, riceve la particolare denominazione d'*incile*; in due spalle, accompagnate non di rado da' muri d'ala; in una o più luci disposte a guisa dell'arcate d'un ponte, e quindi, se sono più d'una, alternate con pile o pilastri intermedi. Nei fianchi delle spalle e de' pilastri sono incavati gl' incastri o gargami verticali, destinati a ricevere le paratoie, ovvero le travate (§. 558), per mezzo delle quali le luci della chiavica ordinariamente si aprono e si chiudono. Le volte o arcate, costrutte sulle diverse luci della chiavica, servono a rendere praticabile la sommità della fabbrica; onde si

(1) *V. nuova raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acque.* Tomo IV Bologna 1824.

possano speditamente eseguire l'operazioni necessarie per chiudere e per aprire le sue luci. L'ampiezza di queste, e la situazione della soglia, dipendono da condizioni relative al regolamento dell'acque. Le dimensioni e le forme delle varie parti materiali dell' edificio si determinano in conformità de' vari uffici cui sono destinate, i quali non abbisognano d'essere dichiarati.

§. 775. Impropriamente si dà anche il nome di chiaviche alle cloache, o sia a quei condotti sotterranei, per cui si convogliano l'acque di scolo, e le lordure, entro le città, a fine di ricapitarle agli opportuni recipienti. Sono queste sommamente interessanti per la nettezza de' luoghi abitati, per l'allontanamento dell'umidità, e per la salubrità dell'aria; onde la moltiplicità di esse è prova della civiltà de' popoli, e della provvidenza di chi li regge. Sono famose per la loro moltitudine, e per la loro grandiosità le cloache della antica Roma, delle quali varie si conservano tuttora; ed i maestosi avanzi della cloaca massima, opera de' Tarquini, dimostrano quanto fosse grande il popolo romano nelle cose di pubbliche utilità, fino quasi dall' infanzia di Roma. Una cloaca è essenzialmente composta di platea, di due muri laterali o di sponda, e di una volta che la ricuopre; sebbene le più piccole sieno spesso semplicemente coperte di lastre di pietra, ovvero anche di grandi mattoni. Somigliano nella struttura alle cloache gli acquedotti sotterranei, e tanto l'une quanto gli altri coincidono nella forma, siccome pure nella somiglianza dei loro uffici, con le botti sotterranee rette, di cui si è detto di sopra (§. 771).

§. 776. Gli acquedotti, per mezzo de' quali si traducono ai luoghi abitati l'acque de' laghi, de' fiumi, o delle sorgenti, pei moltiplici bisogni della vita, sono, siccome abbiamo di già avvertito, per la loro conformazione somiglianti o ai ponticanali ove camminano sopra terra, ovvero alle botti in quei tratti, pei quali il corso di essi è sotterraneo. Nè raro è il caso che qualche tratto di acquedotto non consiste in altro che in un semplice cunicolo, aperto nelle viscere della terra, senza veruna interna costruzione murale, nel masso naturale di pietra viva, o di solido tufo. Generalmente nelle pianure gli acquedotti s'innalzano più o meno da terra, quanto è necessario, affinchè lo speco progredisca con un declivio costante fino al suo termine: ma ne' paesi montuosi occorre quando di tenere lo speco in aria sopra arcate, quando d'occultarlo nelle viscere de' monti, a seconda delle varie inflessioni del terreno, sopra un andamento opportunamente scelto, onde conservi in tutto il suo corso una pendenza regolare, ed uniforme per quanto è possibile. Nell'assegnare il declivio agli acquedotti vuolsi serbare una giusta misura, affinchè nè per la soverchia pendenza l'acqua abbia ad acquistare un corso troppo violento, che con la continua agitazione potrebbe a lungo

giuoco produrre qualche danno nell'edificio, nè per la troppo scarsa inclinazione il moto dell'acqua si rende troppo lento, onde la naturale bontà di lei ne potrebbe soffrire qualche alterazione. Dal Vitruvio si prescriveva che la pendenza degli acquedotti dovesse essere del 5 per 1000 (1): Carlo Fontana opinò dipoi che potesse essere ridotta al 4,20 circa per 1000 (2): ed il Belidor, prendendo norma da alcuni acquedotti della Francia, giudicò che fosse sufficiente il 0,3 circa per 1000, sempre che il corso non facesse gomiti e le svolte fossero talmente raddolcite, che non potessero indurre un cangiamento valutabile nella velocità dell'acqua (3). Possiamo risguardare le due pendenze indicate dal Vitruvio e dal Belidor siccome due limiti entro i quali potrà vagare l'effettiva declività degli acquedotti, secondo le diverse particolarità de' casi. Che se per sorte, essendo data la portata d'un acquedotto, si conoscesse per esperienza la minor velocità, con cui l'acqua di cui si tratta avesse bisogno di scorrere, onde non perdere di bontà, le formole idrometriche del corso equabile per gli alvei di letto e di sponde inalterabili (4), nelle quali non resterebbe d'indeterminato se non che la pendenza e la costante larghezza del bottino, darebbero modo di determinare l'uno di questi elementi, rimanendo l'altro arbitrario; e potendosi quindi accomodare il suo valore all'adempimento di qualche condizione accidentale. Generalmente è data l'elevazione del fondo all'origine del condotto, o sia alla presa dell'acqua, dipendentemente dal livello naturale del lago, del fiume, o delle sorgenti, che debbono alimentare l'acquedotto; ed è pur data l'altezza di livello del fondo al termine dell'acquedotto, ove debbono scaricarsi le sue acque, per essere distribuite alle fontane, dipendentemente dalla naturale elevazione del terreno nel sito a ciò prescelto, che suol essere uno de' più eminenti della città, affinchè l'acqua possa d'indi tradursi alle regioni più basse per soccorrere ai bisogni dell'intera popolazione. L'eccesso della prima sulla seconda dell'indicate altezze costituisce l'intera caduta dell'acquedotto; e quindi determinata, come si è detto, la pendenza, ben si vede come si renderà nota la lunghezza sviluppata dall'acquedotto, da condursi sopra uno studiato andamento, che sia il più confacente all'economia della costruzione. Che se la caduta fosse assai grande, onde per non eccedere nella

(1) *De architectura* - Lib. VIII cap. VII.
(2) *Trattato dell'acque correnti* - Roma 1696 - Lib. I cap. IX.
(3) *Architecture hydraulique* - Parte I lib. IV cap. IV.
(4) *Venturoli* - Vol. II lib. II cap. XXXIII.

pendenza fosse d'uopo di allungare strabocchevolmente l'andamento dell'acquedotto, converrebbe piuttosto di consumare una parte della caduta in diversi salti o cascate d'acqua, impiegando la rimanente nel dare una regolare pendenza ai diversi tronchi dell'acquedotto, interrotti dai vari ricettacoli, nei quali succederebbero le dette cascate. E quando la caduta fosse scarsa, onde per quanto si cercasse di menar l'acquedotto per la linea più breve, ne risultasse tuttavia una tenuissima pendenza, converrebbe allora per mezzo delle formole idrometriche testè citate determinare la larghezza dello speco a modo che, ad onta della poca pendenza, potesse il corso dell'acqua succedere con un giusto grado di celerità. Sono queste le massime fondamentali, cui fa d'uopo di por mente nei progetti d'acque da condottarsi; l'applicazione delle quali esige una completa cognizione geodetica de'luoghi, conseguibile mediante un'accurata planimetria, ed una scrupolosa livellazione. E noi ci contenteremo di averle semplicemente accennate; e senz'altro aggiungere intorno alla costruzione degli acquedotti, ci volgeremo un istante a considerare alcuni edifici, o manufatti, che necessariamente debbono ad essi andare annessi, taluni de'quali appartengono alla presa dell'acqua, altri tendono alla depurazione di essa, alcuni sono destinati all'esito dell'aria, altri finalmente a dar ricetto all'acque, giunte che sieno per l'acquedotto al termine, ove debbono essere distribuite per mezzo di subalterne condutture alle pubbliche ed alle private fontane.

§. 777. Sono varie le opere che costituiscono la presa dell'acque, secondo che queste o debbono essere dispensate all'acquedotto da un fiume, o da un canale, o si vogliono estrarre da qualche lago, ovvero finalmente si derivano da naturali sorgenti. Dai fiumi, dai canali, e dai laghi si traggono le acque da condottarsi per qualunque uso per mezzo di chiaviche emissarie, le quali, ove si esiga che dieno una costante e determinata erogazione, importa che sieno costituite e regolate opportunamente. Sul quale argomento sarebbe superfluo che qui ci arrestassimo, poichè nel corso di matematica applicata (1) fu completamente esaurito, non solo per quanto spetta alla teoria degli efflussi, ma ben anche per la parte pratica della distribuzione dell'acque, ove fra i vari metodi usitati in Italia per la dispensa dell'acque si fece conoscere come il più facile, il più giusto ed il più sicuro quello che si osserva ai navigli di Milano, e si vendicò altresì da qualche sospetto di fallacia, che contro di essa era stato promosso. Quando poi si tratta d'acque sorgenti, prima che sieno convogliate

(1) *Venturoli* Vol. II lib. IV cap. I e II.

nell' acquedotto è d'uopo che vengano *allacciate*. Quest'operazione consiste nel rintracciare prima di tutto le scaturigini o vene naturali, facendo all'uopo de'tagli nelle falde montuose, ove si hanno non equivoci indizi della loro esistenza, nel formare successivamente ne' vari punti, ove compariscono le sorgenti, altrettanti pozzi quadrati o rotondi, nei quali se ne possono accumulare separatamente le acque; finalmente nel radunare tutte in un ricettacolo comune l' acque de' diversi pozzi, per mezzo de' canali coperti, comunemente chiamati *forme*, le quali o sboccano ciascuna immediatamente nel detto ricettacolo, ovvero fanno separatamente capo in una forma principale, per cui tutte le acque riunite sono immesse nel ricettacolo stesso, dal quale ha poi origine l' acquedotto.

La pianta dell' terreno, ed un' accurata livellazione di tutte le sorgenti, non che di tutti quei punti che possono congetturarsi adattati per situarvi il comune ricettacolo, o sia la *botte di riunione*, sono indispensabili onde disporre le cose nel sistema più conveniente, relativamente all'andamento e alla pendenza delle varie forme, ciascuna delle quali in sostanza non è altro che un braccio parziale d' acquedotto. Importa sommamente che la soglia della luce emissaria, per cui l' acque raccolte in un pozzo sono ricevute dalla propria forma, sia più bassa del livello naturale delle sorgenti ivi allacciate, affinchè l' acqua per imboccar nella forma non abbia d' uopo d' alzarsi nel pozzo sopra il suo naturale livello: mentre in tal caso vi sarebbe pericolo che le sorgenti non avendo forza di alzarsi di più, oppresse dal peso della massa fluida contenuta nel pozzo, rimanessero ivi assopite, o rivolgessero altrove il loro corso. I pozzi e le forme debbono avere una platea di muro in malta, costrutto a stagno, o se non altro un fondo artificiale di terra argillosa ben battuta, onde l' acqua non possa per esso trapelare e disperdersi. Le sponde così de' pozzi come delle forme debbono essere di muro a secco in quel lato da cui provengono le sorgive, affinchè queste per gl' interstizi delle pietre abbiano libero l' accesso; ma vogliono essere fabbricate in malta in que' lati ove, lungi dall' introdursi nuove acque, potrebbero anzi disviarsi quelle di già allacciate. Le coperture si costruiscono a volta, ed in malta per per maggiore solidità; e sopra quelle de pozzi si fabbricano de' torrini, ovvero si pongono de' segnali di pietra, sporgenti da terra a guisa di termini, acciocchè apparisca la posizione di ciascun pozzo, e non sia d' uopo di cieche indagini nell'occorrenze di scoprirli, sia per espurgarli, sia per eseguirvi qualche ristauro. Consimili torrini, o termini sono anche necessari sugli acquedotti sotterranei, in tutti i punti ove fanno gomiti, o svolte, acciocchè appariscano sul terreno tutte l'inflessioni del loro corso, e si conosca per ogni dove il loro andamento, per qualunque caso in cui possa richiedersi

sia d'indagare la cagione di qualche sconcerto, sia d'apprestarvi gli opportuni ripari.

§. 778. Agl'ingressi degli acquedotti si appongano delle ramate di fil di ferro, affinchè trattengano l'erbe ed i sassi, onde insieme con l'acqua non s'introducano nel condotto. Ma l'arena ed il limo non possono essere arrestati da sì fatti ripari, e quindi nasce la necessità d'altri provvedimenti, onde l'acque giungano alla loro destinazione libere di ogni materia eterogenea. Opportunissime sono a tal uopo le *conserve*, cui gli antichi denominarono le *piscine*; ed altro non sono che ampi ricettaccoli, nei quali l'acqua espandendosi rallenta necessariamente il suo corso, e deposita quindi quelle materie, che aveva fin lì avuto forza di trascinar seco. Le conserve possono essere coperte ovvero scoperte; ma questa differenza non influisce sull'effetto cui si ricerca. Si costruiscono ad un solo piano, ovvero a due piani, e questa è una diversità che merita d'essere avvertita, poichè quelle a due piani giovano più di quelle ad un solo piano al desiderato intento.

La fig. 324 rappresenta l'antica piscina o conserva scoperta, e ad un solo piano, dell'acqua Alessandrina, descrittaci dal Fabretti (1). Consisteva questa nel ricettacolo *F*, ove entrava l'acqua, discesa per l'acquedotto superiore *O*, per la luce *B*, e da cui usciva ad incanalarsi nell'acquedotto inferiore *E* per l'altra luce *A*. È da osservarsi che la velocità dell'acqua entro cotesta piscina doveva diminuire non solo in grazia dell'ampiezza del ricettacolo, ma ben anche a motivo che non trovandosi le due luci d'ingresso e di sortita una dirimpetto all'altra, il corso dell'acqua entrante doveva venire a frangersi nell'opposta sponda, per rivolgersi quindi verso la bocca scaricante, ad introdursi per questa nell'inferiore acquedotto.

Nella fig. 325 si osserva il disegno prospettico d'una piscina coperta e a due piani, appartenente all'acquedotto dell'acqua Vergine, datoci questo pure dal Fabretti (2); della qual forma è pure un'altra antica conserva, che tuttora esiste appresso Civitavecchia, e serve anche presentemente alla depurazione dell'acqua, che giunge a quella città per l'acquedotto Trajano.

Il ricettacolo è diviso in quattro camere, delle quali due *B*, *E* al piano superiore, e due *D*, *F* a quello inferiore. L'acqua passa dal tronco superiore *A* dell'acquedotto per la luce *a* nella camera *B*, d'onde

---

(1) Opera citata. Dissertaz. I.
(2) *Ibidem*.

discende per l'apertura $C$ nella sottoposta camera $D$, e quindi nell'altra contigua $F$ per l'apertura $E$, rimonta poi nella sovrapposta ultima camera $H$ passando pel foro $G$, e s'incanala finalmente in $i$ pel tronco inferiore $I$ dell'acquedotto. L'apertura $K$, avente la sua soglia a livello del fondo infimo della conserva, ed inclinata verso il di fuori, dicesi *scaricatore* o *sfogatoio*, e serve a discaricare le acque in una cloaca, ovvero in un fosso scoperto, tutte le volte che abbisogna di tener vuoto il tronco inferiore dell'acquedotto per eseguirvi qualche ristauro, ovvero semplicemente di vuotare la conserva per espurgarla dalle sabbie e dal lezzo depostovi dalle acque. Tali deposizioni quando lo sfogatoio è aperto vengono in gran parte sgombrate dalla forza dell'acqua, solo che si abbia cura di smuoverle, e di venirle radunando a poco a poco verso gli sbocchi $E$, $K$. Lo sfogatoio si apre e si chiude a piacimento per mezzo di una robusta cateratta ad esso esternamente adattata. Ben si scorge come le acque entro una conserva di cotal fatta, e pel vasto spazio in cui si diffondono, e pel lungo giro, e per le varie ripercussioni a cui sono costrette, debbono rendersi oltremodo lente, ed impotenti a trar seco le materie più fine, le quali perciò resteranno depositate al fondo della piscina.

Giova che una conserva sia posta all'origine dell'acquedotto, affinchè l'acqua vi entri più che si può depurata. Ma è pur ben fatto che altre a quando a quando se ne dispongano lungo il corso dell'acquedotto, nelle quali la depurazione dell'acqua si venga di mano in mano compiendo: a fine ancora che gli annessi sfogatoi offrano frequenti aditi, pei quali si possa entrare nell'acquedotto, occorrendo di visitarlo o di eseguirvi interne riparazioni.

§. 779. Nelle volte degli acquedotti occorrono di tratto in tratto degli sfiatatoi, vale a dire dell'aperture, per le quali possa esalare l'aria interna che soprabbonda, ingrossata continuamente e da quella che l'acqua con bizzarra alternazione trae secò e sprigiona nel suo corso, e dall'incessante evaporazione dell'acqua stessa. Nei tratti sotterranei degli acquedotti questi sfiatatoi sono a forma di pozzi fino a fior di terra, ed hanno l'orificio coperto da un torrino, nella di cui volta è formato uno spiraglio, per cui l'aria possa avere libero sfogo. Si stabiliva da Vitruvio (1) che gli sfiatatoi dovessero porsi a distanza di circa m. 71 l'uno dall'altro. Generalmente però non importa che sieno così frequenti, se si guardi semplicemente all'effetto testè motivato. Giova tuttavia di

(1) Lib. VIII cap. VII.

moltiplicarli, affinchè nell'interno del condotto l'aria non si renda insalubre, nè manchi qualche raggio di luce a coloro che debbono trattenervisi, nelle occassioni di ripulirlo o d'eseguirvi qualche ristauro.

§. 780. Giunte l'acque per l'acquedotto al luogo dal quale debbono essere distribuite e trasmesse alle fontane di pubblica, e di privata ragione, si raccolgono in un ampio ricettacolo, cui si dà il nome di *botte* ovvero *castello di divisione*. Nelle sponde di questa vasca sono aperti gli orifizi per la distribuzione dell'acqua, i quali conviene che abbiano i loro centri tutti alla stessa profondità sotto la superficie dell'acqua dentro la vasca, e che abbiano le loro aree proporzionali alle erogazioni, che rispettivamente se ne vogliono ottenere (1); costituiti nel resto in parità di circostanze per tutto ciò che può influire sulla quantità dell'efflusso. L'acque sorgenti da questi vari orifizi sono ricevute in altrettante separate tazze, dalle quali si avviano per tubi o condotti destinati all'alimento delle fontane sparse ne' diversi quartieri della città.

Nella figura 326 si ha il disegno d'un castello di divisione esistente in Roma sul Quirinale, comunemente denominato la botte di Montecavallo, ed inserviente alla distribuzione dell'acqua Felice. L'acqua è versata dal condotto, mediante tre grossi tubi di piombo $H, H, H$, in una vasca $E$, che chiamasi la *botticella*, e passando sotto il muro $FG$ entra nel gran ricettacolo $ABCD$, di pianta rettangolare oblunga, il quale costituisce il castello, o vogliamo dire la botte di dispensa. La separazione o tramezza $FG$ è necessaria affinchè si sedino l'agitazioni dell'acqua versata dai tubi $H, H, H$, ed il fluido si disponga dentro la botte con una superficie perfettamente orizzontale e tranquilla. Le luci d'erogazione $M, M, M, \ldots$ aperte nelle sponde della botte, alle quali comunemente si dà il nome di fistole, versano l'acqua dentro le tazze o vaschette $O, O, O \ldots$, d'onde pei tubi o condotti $Q, Q, Q, \ldots$ si dirama alle diverse fontane.

La fig. 327. rappresenta un castello di pianta circolare $AAA$. L'acqua entra in esso di sotto nel suo centro $B$ dall'orifizio del condotto $CC$, che ha origine in $D$ nella sponda anteriore della vasca $E$, nella quale si scarica l'acquedotto maestro mediante i tre tubi $H, H, H$. Nella sponda circolare del castello sono disposte le luci dispensatrici dell'acqua, la quale è ricevuta nelle vaschette $O, O, O \ldots$, e d'indi s'incammina pei tubi di condotta $Q, Q, Q \ldots$ alle fontane cui è destinata.

---

(1) Venturoli - Vol. II. lib. IV cap. I.

Nella prefata botte circolare, sempre che le luci sieno tutt'all'intorno ugualmente distribuite, ed alternate le più grandi alle più piccole, talmente che l'acqua non sia notabilmente attratta più da una parte che dall'altra, è chiaro che la superficie del fluido dovrà necessariamente mantenersi orizzontale. Ma nella botte rettangolare antecedentemente considerata, venendo sottratta di mano in mano l'acqua dalle fistole disposte lungo le sponde laterali, vien di necessità, siccome sagacemente fu avvertito dal Fontana (1), che il pelo dell'acqua si disponga con qualche inclinazione da *L* verso *N* (fig. 326), e che quindi essendo i centri di tutte le luci d'erogazione in un medesimo piano orizzontale, si renda proporzionalmente minore l'efflusso nelle luci, a grado a grado che più s'allontanano dalla tramezza *E*, o sia dall'ingresso dell'acqua, e che vanno conseguentemente scemando di battente. Nè a questo inconveniente l'arte saprebbe apportare opportuno compenso; e perciò quando si voglia che la dispensa sia giustamente proporzionale all'aree delle luci erogatrici, converrà costruire i castelli di forma circolare, e far sì che ricevano l'acqua nel centro, come appunto in quello che poco fa abbiamo descritto. Siccome poi le luci non sono tutte uguali, ma hanno le loro aree proporzionali ai vari diritti d'erogazione, così importa d'avvertire che le piccole sieno situate a tal distanza dalle grandi, che la maggior chiamata, o come comunemente si suol dire il maggior *tiro* di queste non abbia a diminuire l'efflusso di quelle. Che anzi a togliere onninamente sì fatto pericolo, e ben anche il dubbio che possa rendersi sensibile l'influenza dell'attrito del fluido contro gli orli delle varie luci, a segno d'alterare la giusta distribuzione, togliendo in proporzione più alla portata delle minori che a quella delle maggiori (2), ottimo sarebbe il temperamento di effettuar la dispensa a mezzo di luci tutte uguali fra loro, proporzionando il loro numero alla quantità fissata di ciascuna erogazione, così che a ciascuna corrispondesse in effetto una portata proporzionale al proprio diritto.

§. 781. Le concessioni e l'effettiva dispensa dell'acqua esigono che sia fissata la misura della luce, e l'altezza del battente per l'unità dell'erogazione, cui, siccome è noto (3), si dà la denominazione d'*oncia d'acqua*; poichè si tratta non solo che le portate sieno costantemente

---

(1) *Trattato dell'acque correnti* - Lib. I cap. XXIV.
(2) Venturoli - Vol. II lib. IV cap. I.
(3) *Ibidem.*

fra loro in una data proporzione, ma di più che ciascuna di esse abbia un determinato valore assoluto. Varie sono le consuetudini de' vari paesi su questo particolare: e l'oncia d'acqua ha valori ben diversi, anche senza uscir dall'Italia, in tutti que' luoghi ove s'intende ad una giusta ed economica distribuzione dell'acque sia de' laghi, sia de' canali, sia finalmente degli acquedotti. Tra le altre meritava in vero particolarmente di essere conosciuta la pratica milanese, di che si prese cura il Venturoli ne' suoi elementi (1). Noi ci fermeremo qui semplicemente ad esporre i presenti sistemi di Roma nella dispensa delle sue acque, le quali sebbene di gran lunga meno abbondanti che non furono in altri secoli, bastano tuttavia a provvedere a tutti i bisogni della popolazione, e a dar dovizioso alimento a molte vaghe, e grandiose fontane di pubblica e di privata magnificenza.

L'unità di misura, o sia l'oncia per la dispensa dell'acqua Vergine, comunemente denominata di Trevi, è l'efflusso perenne da una luce circolare, che ha di diametro un'oncia, o sia la dodicesima parte del palmo romano, equivalente a m.0,2234, essendo costantemente sottoposta ad un battente o peso d'acqua di palmi 1,25 (m. 0,2792), ed armata d'un cannello o tubo orizzontale cilindrico, lungo esso pure palmi 1,25. Quindi tutte le fistole d'erogazione debbono essere sotto lo stesso battente, ed avere la medesima lunghezza: se non che variano i diametri delle loro luci come le radici delle quantità delle rispettive erogazioni, espresse secondo la detta unità di misura. E così per due, per tre, per quattro once d'acqua i diametri delle fistole saranno le radici di due, di tre, di quattr'once quadrate del palmo romano; e per mezz'oncia, per un quarto, o per un'ottavo d'oncia le fistole dovranno avere per diametri le radici di mezz'oncia, d'un quarto e d'un ottavo d'oncia quadrata dello stesso palmo. La portata della descritta fistola, cui corrisponde l'unità dell'erogazione per l'acqua Vergine, giusta i risultati d'alcune sperienze degne di fiducia, dà in un minuto primo m. c. 0,02808 d'acqua.

La fistola a cui corrisponde l'unità di dispensa, o sia l'oncia dell'acqua Paola, detta anche acqua di Bracciano, ha una luce circolare uguale in area alla metà d'un oncia quadrata di palmo, ed è nel resto pienamente conforme alla fistola dell'oncia d'acqua di Trevi; laonde è chiaro che per la quantità dell'efflusso l'oncia di Trevi è doppia di quella dell'acqua Paola.

Per la dispensa dell'acqua Felice, che prende anche il nome d'acqua di Termini, la fistola dell'unità di misura, o sia dell'oncia, consiste in una semplice luce rettangolare scolpita in lastra sottile di metallo, la quale ha un'oncia di palmo d'altezza e mezz'oncia di base ed è posta sotto un battente o peso d'acqua di palmi 1,25. La portata di

(1) Venturoli - Vol. II. lib. IV. cap. I.

questa luce elementare calcolata secondo le formole dell'idraulica (1), sarebbe di m. c. 0.01518 per minuto, vale a dire poco più della metà di quella dell'oncia d'acqua Vergine, determinata come si disse poc'anzi per mezzo di accurate sperienze.

§. 782. Le subalterne condotture, per mezzo delle quali l'acque dal castello di dispensa pervengono alle fontane, consistono in semplici tubi, i quali possono costruirsi di legno, o di terra cotta, o di ghisa, ovvero finalmente di piombo. I condotti di legno si formano di lunghi e grossi fusti di ontano, d'olmo, e di quercia forati per l'asse, in guisa che i diametri de' vani interni siano proporzionati alle diverse portate assegnate ai condotti, avvertendo che le pareti all'intorno abbiano di grossezza tre centimetri almeno di legno perfetto, non contando cioè l'esterne spoglie della corteccia e dell'alburno (§. 141). Codesti tubi s'innestano l'uno nell'altro per l'estremità, insinuando il capo più sottile dell'uno giustamente affilato nel capo più grosso d'un altro corrispondentemente incavato a foggia d'imbuto, e saldando l'unione a freddo con un mastice composto di grasso di montone e di polvere laterizia, pestate insieme queste due sostanze in un mortaio, sicchè incorporatesi perfettamente formino una pasta molle ed omogenea. Questo stesso mastice si adopera a stuccare le fenditure, che o fin da principio o col progresso del tempo si manifestano qua e là nelle pareti di codesti condotti. I tubi o condotti laterizi si fabbricano alle figuline di varie dimensioni, secondo le consuetudini de' luoghi, e secondo le particolari ordinazioni de' committenti. Nel prospetto de' materiali laterizi ordinari di Roma, addotto alla fine del capo terzo di questo libro, furono indicate le varie specie di condotti figulini, che ordinariamente s'apparecchiano alle nostre fornaci, e l'individuali loro dimensioni. I tubi laterizi s'inseriscono ai loro capi l'uno nell'altro, avendo a bella posta ciascuno di essi una delle estremità per breve tratto assottigliata quanto basta, affinchè possa entrare nel vano d'un altro condotto. Le unioni de' vari tubi si saldano con malta idraulica di provata efficacia, e può farsi uso a tal uopo di otto parti di calcina finissima, mescolata con una parte di tartaro di botte, stemperato il miscuglio con olio di noce ovvero di lino (2). I condotti di ghisa o sia di ferro fuso si fanno di vario diametro secondo le diverse occorrenze, e della lunghezza d'uno o di due metri. Quando la ghisa sia di buona qualità ad un tubo di condotta, il di cui vano abbia il diametro

(1) Venturoli - Vol. II lib. II cap. XIV.
(2) Masi - *Teoria e pratica di architettura civile* - Cap. II §. VI.

di pollici quattro del piede di Parigi (m. c. 0,1083), basta di assegnare una grossezza di quattro linee del piede medesimo (m. 0,009); e così per un condotto di sei pollici di diametro (m. 0,1624) è sufficiente una grossezza di cinque linee (m. 0,011); e successivamente aumentando il diametro de' condotti, l'aumento della grossezza basta che sia d'una linea (m. 0,00226) per ogni due pollici (m. 0,0541) che crescono nel diametro (1). Presso le due estremità di ciascun tubo sporgono tutto all'intorno de' labbri, che diconsi *briglie*, talmente che posti a contatto i capi di due tubi, le corrispondenti briglie si trovano a distanza di due o tre millimetri l'una dall'altra. Questo vano fra briglia e briglia è occupato da una rotella di cuoio o di feltro, e quindi i due tubi vengono uniti per mezzo di viti, che stringono insieme le stesse briglie ed il cuoio interposto, il quale serve a chiudere perfettamente la congiunzione, e ad impedire qualunque dispersione d'acqua. I condotti di piombo si fanno di getto ovvero di piastra tirata alla necessaria grossezza a forza di martello, ridotta a forma di canna o tubo del prescritto calibro, e quindi saldata a stagno nella commessura longitudinale. I diversi tratti di canna, che debbono comporre il condotto, sieno di getto, sieno di piastra lavorata come si è detto, si uniscono l'uno all'altro con saldatura di stagno. In Roma generalmente si fa uso di condotti di piombo tirati a martello, e saldati. Quanto alla grossezza da assegnarsi alle canne di piombo pei condotti d'acqua, giovano le formole generali della fermezza de' tubi idraulici, le quali nel precedente libro furono già da noi riassunte, ed accomodate alle più recenti sperienze (§. 489). Ivi fu pure avvertito quali sieno i particolari vantaggi delle condotture di piombo a confronto di quelle fatte con tubi laterizi, o di legno, o di ferro fuso. Tuttavia quest'altre specie di condotti vengono non di rado preferite ai condotti di piombo per un semplice riguardo d'economia.

§. 783. I tubi di condotta in generale si dispongono sotto terra su d'un andamento opportunamente stabilito dalla botte di dispensa, fino alle fontane, cui le particolari erogazioni sono destinate. Si usa talvolta di rinchiudere i condotti entro bottini o gallerie sotterranee d'opera murale, costrutte a forma di cloache (§. 775); dal che deriva il doppio vantaggio, e che i tubi sono al coperto di quei danni che potrebbero ricevere dallo scuotimento, e dalla compressione che soffre il terreno soprastante nel passaggio delle vetture, o d'altri carichi di qualunque specie, singolarmente dentro le città: e che i condotti si possono tenere in continua osservazione, si possono conoscere prontamente

(1) Belidor. *Architecture hydraulique*. Parte I lib. IV. cap IV.

l'origini, e l'entità de' guasti che in essi avvengono, e vi si possono facilmente apprestare gli opportuni ripari. Ove i condotti vaghino sotterra come per lo più accade, senza la difesa dell'anzidetta galleria, conviene che sieno posti a profondità non minore d'un metro, onde non risentano troppo da vicino l'impressione de' carichi, che calcano il sovrapposto terreno. Il condotto deve procedere dal suo principio fino al suo termine con una giusta inclinazione, e vuolsi sopra tutto evitare di farlo discendere a modo che sia poi d'uopo di farlo risalire con una contraria inclinazione, dovendo preferirsi piuttosto di svolgerne l'andamento per una via più lunga, e con qualche tortuosità, a fine di poterlo disporre con un continuato declivio; essendo ben noto pei principii dell'idraulica che le rivolte verticali de' tubi valgono più che l'orizzontali a rallentare il moto dell'acqua, e ad aumentare la pressione di essa sulle pareti (1). Che se la conformazione del suolo non permetterà di conseguire codesto intento per via sotterranea, si potrà sospendere per qualche tratto il condotto sopra terra; al che ne' luoghi abitati si prestano non di rado opportunamente gli stessi muri delle case, ed altre fabbriche. Ad ogni modo quei serpeggiamenti, sieno orizzontali, sieno verticali, che non si possono evitare, debbono studiosamente tracciarsi in guisa tale che non presentino al corso dell'acqua nè gomiti ad angolo e troppo chiusi, nè seni curvilinei irregolari.

§. 784. Lungo le subalterne condotture sono necessarie delle piccole conserve (§. 778) distribuite a distanza di circa m. 100 l'una dall'altra, ciascuna delle quali riceva l'acqua proveniente dal tronco superiore del condotto, e quindi la versi nel tronco inferiore. Ciascheduna conserva ha nel fondo uno sfogatoio, o scaricatoio guarnito d'un tubo metallico a chiave, da potersi aprire e serrare a piacimento. Si apre lo scaricatoio tutte le volte che occorre di vuotare il tratto inferiore della condottura, per eseguirvi qualche risarcimento, e giova anche d'aprirlo di tempo in tempo affinchè si disperdano per esso il limo e l'immondezze deposte dall'acqua sul fondo della conserva. E giustamente si pratica di collocar le conserve ne' punti delle rivolte, e principalmente di quelle verticali, dalle quali l'acqua è obbligata a risalire, ove il rallentamento della velocità dell'acqua agevola più che altrove la deposizione delle materie dalle quali è intorbidata. Occorrono anche ne' condotti degli sfiatatoi (§. 779) per l'esalazione dell'aria, la quale se di tratto in tratto non trovasse uno sfogo d'onde sprigionarsi, ritarderebbe il corso dell'acqua, e potrebbe altresì cagionare qualche parziale sfiancamento nei

---

(1) Venturoli - Vol. II lib. II cap. XXVI, XXVII, XXVIII.

tubi. Ciascuno di tali sfiatatoi consiste in una piccola apertura circolare fatta sul dorso del condotto, alla quale è saldato un lungo tubo verticale di metallo, e comunemente di piombo. Questo tubo conviene che sia portato a tale altezza che giunga presso a poco a livello dell' acqua della prossima conserva superiore; e perchè si regga, e venga garantito da ogni offesa, vuol essere ristretto o in un muro di qualche edificio, che s' incontri sull' andamento del condotto, ovvero in un pilastro fatto a bella posta, cui suol darsi per lo più la forma d'obelisco. Le sommità di codesti tubi si ritorcono talmente che i loro sbocchi guardino abbasso, onde così non possa temersi che cadano per essi de' corpi estranei ad imbarazzare il condotto. Gli sfiatatoi debbono essere a non molta distanza l' uno dall'altro, e vuolsi specialmente aver cura di situarli nelle sommità delle rivolte verticali, ove l'aria siccome specificamente più leggera dell'acqua si ferma naturalmente e si accumula più che altrove. Alcune volte accade che per innalzare gli sfiatatoi fino a livello dell'acqua della precedente conserva; occorrerebbe di farli estremamente alti; e non di rado anche succede che l'area, sotto la quale percorre l'andamento del condotto è per lungo tratto destinata ad uso di strada, e quindi non è permesso d'imbarazzarla con la costruzione di qualche sfiatatoio della forma testè descritta. In simili casi sono opportunissimi gli sfiatatoi a valvola, chiamati anche sfiatatoi a galleggiante, inventati dal Bettantourt, proposti dal Girard per le condotture di ghisa, destinate a distribuire le acque del canale dell' Ourcq alle varie contrade di Parigi; dei quali abbiamo la descrizione dallo stesso Girard (1), e dall' opere del Borgnis (2). Nel dorso del condotto è aperto un foro circolare, contornato da un breve tubo verticale *a* (fig. 328) del diametro di m. 0,10, alla sommità del quale è un labbro piano, sporgente all'infuori, su cui va posto ed assicurato lo sfiatatoio. Questo consiste in un breve tubo *e*, uguale in diametro a quello *a* prominente sul condotto, e guarnito nella sua estremità inferiore d'un uguale labbro piano, destinato ad essere soprapposto a quello del tubo *a*, e ad esso fermato per mezzo di viti, con un' interposta ruotella di cuoio, che chiuda ermeticamente la commessura. Il cilindro è saldato al fondo d'un vaso cilindrico *A* di rame alto m. 0,35, ed avente m. 0,20 di

---

(1) *Mémoire pour servir d' introduction au dévis général pour la distribution des eaux du canal de l' Ourcq dans l' interieur de Paris* - Paris 1822 - Cap. V - *Description des differents ouvrages à executer pour la distribution des eaux du canal de l' Ourcq* - Paris 1812 - Sez. II cap. II.

(2) *Traité des machines hydrauliques* - Lib. II cap. II.
*Traité élémentaire de construction* - Lib. IV cap. VI.

diametro, il quale ha intorno alla sommità un labbro piano, su cui s adatta e si ferma con viti un coperchio metallico, nel centro del quale è aperto l'orificio *b* della valvola destinata all'emissione dell'aria. Il fondo del vaso cilindrico *A* è perforato in corrispondenza della bocca del tubo *e*; e solo vi è distesa una spranghetta trasversale di ferro bucata per l'asse del vaso, a cui altra simile ne corrisponde ugualmente bucata, e posta a piccola distanza del coperchio del vaso stesso, e pei due fori di tali spranghette passa l'asticciuola o gambo verticale *u u*, nella di cui sommità è un bottone conico adattato a chiudere ermeticamente la valvola *b*. Allo stesso gambo *u u* è infilata e saldata una sfera vacua di metallo *c*, atta a galleggiare sull'acqua ad onta del peso del gambo *u u* ad esso inerente, e che può liberamente scorrere pei fori delle due spranghette orizzontali. Ora facilmente si scorge che l'acqua scorrente pel condotto entrando pei tubi *a*, *e* nel vaso *A* elevandosi dentro di questo, solleverà la sfera *c*, e spingerà il bottone annesso alla sommità del gambo a chiudere la valvola, sollevando il proprio livello, fintanto che la forza elastica dell'aria che rimane rinchiusa e compressa nella parte superiore del vaso si sarà messa in equilibrio con la forza comprimente ed ascensionaria della sottoposta massa liquida. Ma non così tosto passerà dal condotto nel vaso dello sfiatatoio qualche nuova quantità d'aria, l'acqua sarà forzata ad abbassarsi, ed a mano a mano che sopravverrà altra aria dal condotto, discenderà sempre più il livello dell'acqua, finchè coll'abbassarsi dalla sfera galleggiante *A* sortirà il bottone dell'orifizio *b* della valvola. Esalando quindi l'aria per l'orifizio, salirà di nuovo l'acqua nel vaso, s'innalzeranno la sfera ed il bottone, e la valvola verrà di bel nuovo a chiudersi, nè tornerà ad aprirsi finchè internamente non si accumuli altra aria in quantità tale, che valga a produrre un'altra volta il fenomeno già spiegato.

§. 785. Intorno all'inclinazione da assegnarsi ai tubi di condotta avrebbero luogo delle considerazioni analoghe a quelle che furono fatte in proposito degli acquedotti maestri. Ma ordinariamente essendo data l'elevatezza del serbatoio, o ricettacolo ultimo, a cui l'acqua deve far capo, e stabilito l'andamento e la lunghezza dal condotto dal castello al ricettacolo stesso, viene pure ad essere necessariamente data la pendenza del condotto, se non altro dentro certi limiti. Ad ogni modo se si consideri un condotto fra due prossime conserve, e si chiami *L* la sua lunghezza $2D$ il suo raggio, *Q* la sua portata; supponendo che sia *a* l'altezza dell'acqua della conserva superiore sul centro della bocca del tubo, *b* l'elevazione del centro della bocca stessa su quello dello sbocco del tubo nella conserva inferiore, finalmente *c* la profondità del centro di esso sbocco sotto il pelo dell'acqua nell'inferiore conserva; e chiamando inoltre *u* la

velocità dell'acqua pel condotto, si hanno dalle dottrine idrauliche (1) le due equazioni

$$Q = 4\pi D^2 \omega,$$

$$(X) \ldots \left(1 + \frac{0,00086\, L}{D^{1,274}}\right) \frac{u^2}{2g} + \frac{0,0004}{D^{0,5}}\, L u = \frac{2}{3}(a + b - c);$$

nelle quali $\pi$ esprime il rapporto della circonferenza al diametro; e $g$ la gravità; onde si deve porre $\pi = 3,141592$, $g = 9,808795$. E se nella seconda di queste equazioni poughiamo $L = \frac{T}{sen.\,\phi}$, $b = \frac{T\,cos.\,\phi}{sen.\,\phi}$, rappresentando $T$ la lunghezza orizzontale dell' andamento sviluppato del condotto, e $\phi$ l'inclinazione del condotto stesso alla verticale, le medesime due equazioni avvolgeranno i cinque elementi $Q$, $D$, $\omega$, $T$, $\phi$, e quindi dati che siano tre di essi, si avrà modo di determinare i valori corrispondenti degli altri due. Così per esempio se fossero dati il raggio $2D$, la lunghezza orizzontale $T$, e l'inclinazione $\phi$ del condotto, si potrebbero per mezzo dell' addotte equazioni determinare la velocità $\omega$, e la portata $Q$. Osserveremo però che le quante volte uno dei due elementi da determinarsi sia il raggio $2D$, deve incontrarsi non piccola difficoltà atteso il grado elevato cui ascenderà la seconda delle due equazioni $(X)$ ordinata per $D$, e ridotta in termini razionali; mentre quand' anche in vece dell' esponente $1,274$ si volesse sostituire la frazione $\frac{5}{2}$, che da esso differisce di poco, tuttavia per determinar $D$ dovrebbero necessariamente ricercarsi le radici d'un' equazione del quinto grado. A togliere cotesta difficoltà si potrà in tali casi adoperare in cambio della seconda fra le annunciate equazioni l'altra

$$(X') \ldots \left(1 + \frac{0,003\, L}{D}\right) \frac{u^2}{2g} + \frac{0,00004}{D}\, L u = \frac{2}{3}(a + b - c),$$

la quale consente quanto basta con le sperienze fatte sopra tubi di diametro non minore d' un pollice parigino, perchè possa aversi fede nei suoi risultati finchè si tratta di tubi di non minore calibro. Potrà bensì rimanere qualche giusta dubbiezza sulla veridicità tanto dell' equazione $(X)$ quanto della $(X')$; quando sia quistione di grossi tubi, rimanendo

(1) Venturoli - Vol. II cap. XXIV e seguenti.

tuttora a desiderarsi che tali equazioni vengano per simili casi autenticate o corrette col confronto d'opportune sperienze. Nè lasceremo d'avvertire che volendosi procedere più scrupolosamente in tali ricerche, sarebbe d'uopo di porre a calcolo la resistenza, che deriva dalle tortuosità di tubi: ed allora all'equazioni (X), (X') altra converrebbe sostituirne nota nell'idraulica, che gli studiosi avranno cura di riassumere, per valersene all'opportunità.

## CAPO XIV.

### *Costruzioni marittime.*

§. 786. Faremo fine al presente libro con alcune brevi considerazioni intorno alle costruzioni marittime: quelle cioè che occorrono alle coste del mare ne' porti e nelle rade, e che hanno per iscopo la sicurezza de' bastimenti che vi si ricoverano, e la facilità dell'imbarco e dello sbarco delle merci. Havvi alcuni porti formati dalla natura, alla perfezione dei quali poco o nulla resta a farsi dall'arte. Ma per lo più questa fa d'uopo che si applichi a scegliere per la formazione d'un porto qualche punto sulla costa, favorevolmente disposto dalla natura, il quale sia situato vantaggiosamente pel commercio delle nazioni, non di rado anche sotto qualche condizione dettata dai riguardi d'una considerata politica: e quivi poi convien che si studi di mettere a profitto le naturali disposizioni del sito, di supplirne le mancanze, e di emendarne i difetti con opere avvedutamente stabilite e combinate, onde ottenerne un porto, in cui si adempiano le varie condizioni testè accennate. Codeste opere consistono ordinariamente in muraglioni di sterminata grossezza, e di solidissima struttura, che con ispeciale denominazione diconsi *moli*, i quali partendosi dal lido si estendono dentro il mare con direzioni ed inflessioni opportune, e talvolta anche si elevano isolati nel mare; e sono destinati a formare il recinto del porto, ad ordinarne la bocca per l'ingresso delle navi, ed a servire insieme di riva per la comodità del carico e dello scarico delle navi medesime. Que' muri che per l'ultimo dei menzionati fini si costruiscono lunghesso la spiaggia interna del porto, diconsi *rive murate*. Intorno all'effettiva costruzione de' moli e delle rive nulla qui particolarmente aggiungeremo, stimando che possa bastare quanto già fu premesso in generale in questo e nel precedente libro sulla fondazione, e sulla costruzione de' muri sott'acqua, e sul modo altresì di rinfiancarli ove sia d'uopo con regolari scogliere. Talune volte ai moli e alle rive di struttura murale si sostituiscono opere equivalenti di legname; al che non si può essere indotti che per un semplice riguardo

d'economia. Ed anche per questi casi abbiamo già veduto nel libro secondo i modi di procedere tanto alla costruzione delle palificate o dighe di legname destinate a far le veci di moli (§. 377) quanto alla formazione degli scali di legname, che talvolta ne'porti tengono luogo di rive murate. Per lo che ci limiteremo ora a considerare i porti nella loro disposizione, in riguardo a quelle condizioni, dalle quali essenzialmente dipende la felice loro costituzione.

§. 787. I porti sono di due specie, cioè *porti a canale*, e *porti a bacino*. I primi ci vengono offerti dalla natura negli ultimi tronchi dei fiumi, ove le loro foci sieno per se stesse, ovvero per opera dell'arte, disposte a permettere l'ingresso ai bastimenti, e l'acque si mantengano, anche nelle massime magre, ad altezza tale, che i legni marittimi vi possano galleggiare. Ordinariamente i porti di questa specie, che diconsi anche *porti di fiume*, non sono atti a ricevere che piccioli o mezzani bastimenti. Tali sono i porti del Po, del Tevere, e d'altri fiumi minori dell'Italia, che mettono foce nel mare Mediterraneo, e nel golfo Adriatico. Ma taluni fiumi formano de'porti capaci di dare ricetto anche ai più grossi bastimenti. Tali sono la Garonna, e la Loira nella Francia, che costituiscono i porti di Bordeaux, e di Nantes; il Tamigi, e la Neva, che formano i porti di Londra, e di Pietroborgo. Le bocche d'alcuni grossi canali d'acque chiare somministrano talora esse pure dei piccioli porti di questa prima specie. Di tal fatta sono i nostri porti di Ravenna, di Magnavacca, e di Volano nel litorale adriatico. I porti a bacino sono spazi di mare inseniati nella costa, che hanno un'imboccatura ampia e fonda per la sicura entrata de'bastimenti, ed in cui si mantiene costantemente l'acqua a tal altezza, che le navi possano galleggiarvi. Essi distinguonsi in porti *perenni*, e porti *a marea*. Questi ultimi esistono alle coste dell'Oceano, ove il fenomeno del flusso, e del riflusso succede in grande; e non possono aver luogo alle spiagge del Mediterraneo e dell'Adriatico, ne'quali il ricordato fenomeno è ben poco sensibile.

§. 788. In generale la buona costituzione d'un porto, secondo che osservava il Belidor (1), si riferisce a tre elementi dominatori: l'aria, l'acqua, e la terra, mentre dipende e dai venti, ai quali esso trovasi esposto, e dalla profondità dell'acqua che ne riempie il bacino, e dalla qualità del fondo, e dalla figura della costa e dentro di esso, e lateralmente al di fuori. Relativamente ai tre nominati elementi ripeteremo

(1) *Architecture hydraulique*. Parte II lib. III cap. IV.

succintamente le condizioni, nelle quali lo stesso Belidor fa sagacemente consistere la perfezione d'un porto. 1° È necessario che la bocca sia talmente disposta che possano senza stento entrare e sortire per essa le navi col favore di tre quarti, se è possibile, dei 32 rombi di vento. 2.° Importa che la bocca non sia dominata da correnti, che ne rendano l'accesso difficile, e pericoloso. 3°. L'altezza dell' acqua nel bacino e nella sua bocca dev' essere tale che i più grossi bastimenti possano entrarvi e fermarvisi senza pericolo, anche in tempo di burrasca. 4°. Il fondo dev' essere per tutto di natura tale che l'ancore possano facilmente e saldamente appigliarvisi. 5°. Vuolsi finalmente che la costa internamente ed esternamente sia disposta in guisa che possa difendere il porto da tutti i venti, e principalmente da quelli che producono le maggiori traversie nel paraggio. E soggiugneremo, sempre col dotto scrittore francese, che vano sarebbe l'ostinarsi a lottare col mare ne' siti mal disposti dalla natura; che gli sforzi dell'arte, quand' anche riescano da principio validi a vincere le contrarietà naturali, queste insorgono poi più poderose di prima col progresso del tempo, e che in simili casi il miglior partito d'ogni altro si è quello d'abbandonare l'impresa, e di cercare altra situazione più favorevole, ove le somme del pubblico erario possono essere impiegate con maggior profitto per l'intento pigliato di mira.

§. 789. Quando si destina a porto di mare un qualche fiume, nell'ultimo tronco del quale corre costantemente acqua sufficiente per sostenere se non altro le piccole navi mercantili, le cure dell'arte debbono principalmente essere rivolte a porne la foce in tale sistema, che offra un comodo e sicuro ingresso ai bastimenti. Importa perciò d'impedire che il fiume presso il suo sbocco si espanda in una sezione troppo ampia, ovvero si suddivida in vari rami, tenendolo ivi a tal'uopo incanalato e ristretto a modo che conservi una giusta velocità, onde abbia forza di conservar escavato il proprio letto, e di respingere l'arene che il mare tende ad accumular verso il lido. A ciò si provede con isponde artificiali estese dentro terra quanto si può riputar necessario pel conseguimento dell'indicato effetto, e protratte in mare finchè si giunga a trovare un' altezza d'acqua corrispondente al bisogno di que'bastimenti, cui si vuole che il porto sia capace di dar ricovero. Le due dighe sporgenti in mare, e che protraggono dentro di esso l'imboccatura del porto, consistono o in robusti moli (§. 786), ovvero in solidissime palificate, costrutte conforme già fu spiegato nel precedente libro (§. 377). Intorno alla disposizione di codeste dighe, e alle dimensioni di esse, la pratica ci somministra alcune interessanti norme, dall'osservanza delle quali principalmente dipende la buona costituzione de' porti a canale.

1°. La scambievole distanza delle due dighe, che formano l'imboccatura d'un porto a canale, dev'essere minore della distanza che passa fra le due sponde naturali nell'ultimo tronco del fiume, affinchè la sezione venendo così a restringersi, il corso dell'acqua si acceleri nel flusso e nel riflusso, ed acquisti forza maggiore per tenere sgombrata la bocca del porto, e per impedire che l'arene s'accumulino dinanzi alla bocca medesima, e vi formino uno scanno, per cui si difficulti l'entrata ai bastimenti. Importa per altro che cotesto ristringimento non sia eccessivo, onde l'angustia soverchia della bocca non renda per un altro verso difficile l'ingresso delle navi; ed affinchè questo sia comodo e sicuro si è conosciuto necessario che la larghezza dell'imboccatura sia tale che possano passarvi schierati almeno tre bastimenti a vele spiegate.

2°. Le dighe debbono essere avanzate in mare finchè si trovi in questo il fondo necessario per tenere a galla i bastimenti, ai quali il porto è destinato. Giova poi di prolungare alcun poco più dell'altra quella che è dalla parte del vento più potente d'ogni altro a spinger l'arena verso lo sbocco del canale.

3°. È utile di stabilire le dighe in linea curva, rivolgendone la convessità verso quella parte, da cui sarebbero spinte le sabbie ad invadere la foce. Cotesta disposizione tende a riparare l'interno del porto dai venti di mare, e ad impedir che si formi un'alluvione o un dosso di sabbia presso l'estremità interna della diga più sporgente, pel rallentamento ch'ivi avverrebbe nel corso dell'acqua, se le dighe fossero stabilite in linea retta.

4°. La larghezza di ciascuna diga dev'essere almeno di m. 4, onde sulle sommità di esse sia uno spazio ampio a sufficienza per la collocazione delle colonne d'ormeggio, alle quali si assicurano i bastimenti ancorati dentro il canale, e per l'esecuzione dell'operazioni necessarie a facilitare l'ingresso, e la sortita delle navi. L'esperienza ha dimostrato che la fissata grossezza di m. 4 basta a render sicure le dighe contro l'impeto del mare burrascoso.

5.° Le dighe vogliono tenersi elevate m. 1,50 sul pelo del mare gonfio. Giova però che le loro estremità si elevino alquanto di più, onde vi si possa accedere senza pericolo in tempo di burrasca, per soccorrere i bastimenti che cercano di rifugiarsi nel porto.

6°. L'estremità, o sia le punte delle dighe, sogliono formarsi di pianta semicircolare; ed importa che sieno spaziose in modo da potervi innalzare un faro, vale a dire una piccola torre per la lanterna destinata a segnare ai naviganti la situazione del porto in tempo di notte, e da potervi anche collocare qualche pezzo d'artiglieria pei segnali che occorrono nella marina ne' tempi caliginosi, o in altre circostanze.

che riguardano l'imprese più segnalate, ed i casi più scabrosi dell'arte delle costruzioni, a farne soggetto de' riservati loro studi, segnatamente sulle grandi opere francesi del Belidor, e del de Cessart, applicandosi sopra tutto a conoscere sia locamente, sia per accurate e ragionate altrui relazioni, la costituzione de' più rinomati porti, e la storia dell'operazioni per mezzo delle quali l'arte ha procurato di sistemarli, e di migliorarne la condizione: e delle conseguenze utili o svantaggiose che ne sono derivate; cognizione essenzialissima ad un ingegnere che debba dedicarsi a progettare, o ad effettuare di somiglianti imprese, alla mancanza della quale vogliensi attribuire a sentimento del primo de' due pronominati dotti e sperimentati scrittori, gli sbagli in cui si ravvisa essere incorsi i costruttori anche più intelligenti, nella massima parte de' porti conosciuti. Faremo fine replicando con lo stesso Belidor una massima importantissima, da aversi non solo presente nel caso de' porti di mare, ma ugualmente applicabile ad ogni altro genere di grandi costruzioni idrauliche: doversi dirigere l'operazioni dell'arte a correggere i difetti naturali del sito, sempre però studiando non solo d'accertarsi che quelle valgano alla prima a produrre un soddisfacente effetto, ma ben anche di presagirne le future conseguenze; poichè non di rado accade che un espediente confacentissimo dal bel principio per un divisato scopo, diviene col progresso del tempo, pel cangiamento ch'esso medesimo induce nello stato delle cose, ad esso scopo contrario, ovvero cagione di nuovi inconvenienti: il che prevedendo l'accorto architetto si deciderà ad abbracciare più adattato temperamento. E quando il raziocinio o l'esperienza facciano antivedere, ovvero il fatto dimostri l'inutilità d'ogni umano sforzo a soggiogare la potenza e la pertinacia di qualche naturale contrarietà, il vero consiglio si è quello di abbandonare ogni tentativo tendente a violentar la natura, e di scegliere piuttosto altri mezzi, i quali per così dire blandendola, la disarmino, e la rendano propizia ai nostri divisamenti.

# LIBRO QUARTO

## DELLE MACCHINE E DELLE MANOVRE ARCHITETTONICHE.

### CAPO PRIMO

*Nozioni generali.*

§. 791. Prenderemo a trattare in questo libro di quelle macchine, per mezzo delle quali le forze dell'uomo, ovvero d'altri agenti animati o inanimati si applicano a produrre vari effetti nell'arte delle costruzioni, i quali senza il sussidio di codesti oidegni meccanici o non potrebbero ottenersi, o non si conseguirebbero che con maggior lentezza e difficoltà; ed esporremo i modi pratici d'adoperare proficuamente esse macchine per eseguire le diverse operazioni dell'architettura statica ed idraulica, ai quali ci è sembrato potersi non impropriamente attribuire la denominazione di *manovre* architettoniche. La scienza meccanica ci fornisce abbondanti cognizioni per saper come debbansi valutare quelle varie forze naturali, che sono atte ad imprimere o ad impedire il moto; c'insegna altresì le leggi dell'equilibrio, dello stato prossimo al moto, e del moto attuale delle macchine in generale: ci porge finalmente i criteri per formarci un giusto concetto de'veri vantaggi delle macchine, e per fissarne la più vantaggiosa costituzione dipendentemente dalla relazione fra la forza motrice da impiegarsi, il complesso delle resistenze da vincersi, equivalenti ad un peso da sollevarsi, e quelle dimensioni della macchina che determinano la velocità della forza e del peso. Non occorre dunque che trattenghiamo gli studiosi sopra dottrine ad essi ben note; delle quali sapranno essi da se medesimi far buon capitale nell'opportunità de'casi. Faremo bensì conoscere come le macchine semplici, e direm quasi generali, si adattino alle particolari occorrenze dell'arte di fabbricare, come per le stesse occorrenze giovi di modificarle, disporle, e combinarle, per ottenerne i migliori effetti, relativamente alla più spedita, più esatta, e più economica esecuzione dell'operazioni edificatorie. E nel riferire a questo proposito i vari metodi, che per l'eseguimento d'una o d'un'altra operazione sogliońsi praticare nell'arte, approfitteremo principalmente de'lumi daticí dall'esperienza per giudicarne il merito, e regolarne convenientemente l'uso secondo le circostanze diverse de'casi.

§. 792. La brevità cui siamo astretti non ci concede di estenderci su d'un argomento, che sarebbe utilissima introduzione alla materia di cui siamo ora per ragionare, siccome ad ogni altro trattato di macchine inservienti a qualsivoglia ramo d'umana industria: cioè sull'ordinata esposizione delle varie specie d'organi, di cui in generale si compongono le macchine, dipendentemente dalle diversità delle funzioni, cui sono essi destinati, per cooperare tutti a dirigere acconciamente l'azione della forza motrice alla produzione d'un determinato effetto. Non lasceremo tuttavia d'indicare le basi, sulle quali si è eretta la sistematica classificazione degli organi meccanici che sono come gli elementi delle macchine, e diconsi anche *meccanismi*; e per cui la composizione delle macchine ha dato origine ad una nuova scienza metodica, che è parte fondamentale ed essenziale delle moderne dottrine tecnologiche. Il Monge divisò pel primo di classificare gli organi o elementi delle macchine, dipendentemente dalle variazioni, che per la loro conformazione e disposizione valgono ad indurre nel movimento, che scambievolmente si trasmettono. Corrispondentemente ai principii dello stesso Monge si compilarono quindi per opera dell'Hachette, del Lanz, e del Bétancourt delle tavole di classificazione, in cui tutti i meccanismi vennero distinti a seconda della loro disposizione a convertire l'uno nell'altro questi quattro modi di movimento: cioè 1.° il movimento rettilineo continuato, 2.° il rettilineo alternativo, 3.° il circolare continuato, 4.° il circolare alternativo; onde di tutti gli organi meccanici si formano sedici serie, corrispondenti alle differenti permutazioni reciproche dei detti quattro modi di movimento, delle quali ciascuno potrà da se stesso tessersi il novero (1). Havvi però degli organi meccanici, i quali non servono direttamente alla comunicazione del moto, ed havvene di molti, i quali sebbene siano ordinati a comunicarsi vicendevolmente il movimento, e a produrre alcuna delle mentovate trasmutazioni, tuttavia non consiste in ciò il fine essenziale a cui sono destinati: laonde i primi rimangono affatto esclusi dall'esposta classificazione, ed i secondi vi sono bensì compresi, non però in considerazione del loro fine principale e caratteristico. Avvisando cotesta imperfezione del sistema il Borgnis (2), un altro più generale ne mise recentemente in campo, nel quale tutti si comprendono i vari meccanismi, di cui le macchine vanno composte, classificati dipendentemente dagli speciali uffici, cui

---

(1) Lanz Bétancourt - *Essai sur la composition des machines* - Hachette - *Traité élémentaire des machines* - Cap. I.

(2) *De la composition des machines*.

sono principalmente addirizzati. Nel sistema del Borgnis gli organi meccanici sono distinti in sei ordini o categorie, ciascuno dei quali è diviso in classi, e quindi ciascuna classe è suddivisa in generi. Un genere abbraccia per lo più diverse specie, e non di rado in una stessa specie si distinguono alcune varietà.

Nell'ordine primo il Borgnis comprende quegli organi iniziali, che sono destinati a ricevere immediatamente l'impulso della forza motrice, e chiamati appunto per questo organi *ricevitori*. Ne ha quindi fatte cinque classi: 1.° ricevitori *zoodinamici*, vale a dire a forza animale, 2.° ricevitori *idrodinamici*, o sia ad acqua, 3.° ricevitori *termodinamici*, che è quanto dire a vapore, 4.° ricevitori *pneumadinamici*, che sono gli organi ricevitori de' molini a vento, 5.° finalmente ricevitori *diversi*, nella qual ultima classe si abbracciano tutti quei ricevitori, sui quali si fanno agire altre cause motrici diverse da quelle, da cui prendono il nome le classi precedenti; quali sono la gravità, l'elasticità, la dilatazione e la contrazione alternativa de' corpi metallici esposti ad una temperatura alternativamente crescente e decrescente ec.

Costituiscono l'ordine secondo tutti quegli organi, che servono a trasmettere il movimento, e a cangiarne se fia d'uopo la direzione. Questi diconsi organi comunicatori, e si distinguono in due classi. Appartengono alla prima classe que' comunicatori che valgono a trasmettere il movimento a breve distanza, come sono le ruote dentate, ed ogni altra specie d'ingranaggio: e diconsi comunicatori *prossimi*. La classe seconda comprende que' comunicatori, che hanno la facoltà di trasmettere il movimento a maggiori distanze, come sono le funi, e le catene, i vetti, ec.: e diconsi comunicatori *remoti*.

La terza categoria abbraccia tutti quegli organi, che servono a modificare la velocità e la forza del movimento, confacentemente all'effetto che vuol ottenersi. A tali organi si dà il nome di *modificatori*. Il Borgnis gli ha separati in sei classi, e sono 1.° i vetti, 2.° l'asse nella ruota, 3.° le troclee, 4.° le ruote dentate, 5.° la vite ed il cuneo, 6.° il torchio idraulico.

Compongono la quarta categoria gli organi così detti *sostenitori*, i quali altro fine non hanno che quello di sostenere e tenere unite le altre parti elementari delle macchine, in modo che possano agire l'una sull'altra, come si richiede per l'esatto conseguimento di quei particolari movimenti cui sono destinate, e resti impedito ogni altro movimento inutile o dannoso. In quest'ordine si distinguono tre classi; 1.° sostegni di ruotazione, i quali reggono, e ritengono altri organi, permettendo ad essi di muoversi con movimento rotatorio, o sia circolare

progressivo, ovvero alternativo: 2.° sostegni di traslazione, che lasciano agli organi sostenuti la facoltà di muoversi con moto rettilineo progressivo, o alternativo: 3.° finalmente sostegni d' immobilità, i quali vietano all' organo sostenuto qualsivoglia movimento, che non sia in comune co' suoi sostenitori.

L' ordine quinto è composto di tutti quegli organi meccanici, che valgono a togliere l' irregolarità del movimento, e ad indurre in esso que' regolari cangiamenti, che possono abbisognare per l' effetto preso di mira. Di tali organi, che diconsi *regolatori*, possono formarsi tre classi. 1.° Organi *moderatori*, destinati a correggere l' irregolarità del movimento, provenienti sia dall' indole del motore, sia dalla costituzione e dalla disposizione delle varie parti elementari della macchina. 2.° Organi *direttori*, che hanno la facoltà di sospendere, di rinnovare, o di variare periodicamente e regolarmente il movimento con una legge costante. 3.° Organi *correttori*, diretti a distruggere o a diminuire gl' irregolari effetti delle forze resistenti.

Per ultimo compongono l' ordine sesto gli organi *operatori*, *o finali*, quelli cioè pei quali si ottiene immediatamente l' effetto definitivo delle macchine. Quest' ordine si divide in cinque classi: 1.ª organi operatori *di traslazione*: 2.ª operatori *di compressione*: 3.ª operatori *di attrizione*: 4.ª operatori *di percussione*: 5.ª operatori *di separazione*.

Nella composizione delle macchine accade molte volte che uno stesso organo adempie contemporaneamente diversi uffici essenziali, e può quindi considerarsi come appartenente a varie dell' enumerate categorie. Ma noi non ci arresteremo sulla prolissa enumerazione e descrizione dei generi e delle numerose specie, che compongono le varie classi ne' diversi ordini degli organi meccanici, paghi di avere additati i principii, sui quali si fonda la sistematica loro classificazione, siccome ci eravamo proposti. Esortiamo tuttavia i giovani architetti allo studio di questo articolo importante della scienza generale delle macchine, la quale essenzialmente appartiene all' architettura, e per cui coloro che professano in tutta la sua estensione quest' arte hanno ottenuto il moderno titolo d' ingegneri. E senza più torneremo al nostro proposito delle macchine spettanti direttamente all' arte delle costruzioni.

§. 793. Le materie, di cui sono formate le varie parti delle macchine architettoniche sono generalmente i legni ed i metalli, e fra questi ultimi principalmente il ferro. Varie specie di legni s' impiegano nella costruzione delle macchine, preferendosene ora una, ora un' altra, secondo che le naturali loro qualità sono più confacenti alla solidità, alla leggerezza, alla durevolezza delle diversi parti degli organi

componenti, corrispondentemente alla diversità de' loro uffici. Così per esempio nella costruzione delle grandi ruote dentate si formano di quercia gli assi, che diconsi *alberi* ed anche *fusi*, e de' quali è principalmente cimentata la resistenza rispettiva: si fanno d'olmo i quarti della materiale circonferenza atteso l'omogeneità di questo legno, la regolarità della sua fibra, e la sua fortezza, per cui comporta il lavorio dei molti fori, che obbisognano ne' detti quarti, senza schiantarsi e senza indebolirsi: si costruisce d'abete o d'altro legno leggero l'interna armatura, i di cui membri sono quasi di semplice collegamento, e poca forza debbono esercitare, a fine di rendere meno pesanti le ruote, e quindi minore la resistenza dell'attrito nel muoversi esse intorno ai loro assi; finalmente si fanno d'elce, di busso o d'altro legno durissimo i denti, i quali sono singolarmente soggetti a logorarsi pel continuo gagliardo attrito.

§. 794. Nella composizione delle macchine, e nelle manovre architettoniche è frequentissimo l'uso delle funi, impiegate in qualità d'organi meccanici per la trasmissione del movimento, ovvero per ritegno e per collegamento dell'armature, de'meccanismi, e de' corpi sui quali le macchine debbono esercitare la loro azione. La materia di cui generalmente si fabbricano le funi per gli usi più importanti dell'architettura e della marina, sono i filamenti preparati della corteccia della canapa, di cui la parte più fina è conosciuta sotto il nome di *gargiuolo*, la parte più grossolana chiamasi *stoppa*, e l'infima *capecchio*. Se ne fanno primieramente dei fili del diametro da uno a cinque millimetri. Con vari fili contorti, o come più comunemente si dice *commessi*, si forma un *cordone*, o *funicolo*. Il numero de' fili componenti un cordone può giungere fino a sessanta. Attortigliando o commettendo vari cordoni, cioè ne' meno di tre, ne' più di sei, si ottiene una fune. Per l'occorrenze della marina si fabbricano anche delle funi composte, le quali consistono ordinariamente in tre funi semplici attortigliate o commesse. Queste diconsi *gomene* quando hanno una circonferenza non minore di m. 0,32, e quando sono meno grosse chiamansi *gherlini*.

§. 795. Le funi che si adoperano nelle manovre architettoniche sono di varie grossezze, e si distinguono con diverse denominazioni. Queste variano da un luogo all'altro nel linguaggio de' pratici costruttori. Noi riferiremo semplicemente i nomi assegnati comunemente in Roma alle varie specie di funi, di cui occorre ordinariamente l'uso (1).

(1) *Castelli e ponti di maestro Niccola Zabaglia*. Tav. II.

1.° Dicesi *canapo* una fune composta di quattro funicoli, ed avente il diametro di tre once del palmo romano, corrispondenti a m. 0,056 circa. Un pezzo di canapo lungo non più di dieci, o dodici metri chiamasi *cavezzone*. 2.° Si nomina *mezzo canapo* una fune avente il diametro di once due, che equivalgono a m. 0,037. 3.° La *zaganella* è una fune alquanto più sottile, il di cui diametro è di minuti nove, pari a m. 0,033. 4.° Fune *da burbera*, volgarmente *funicchio*, è quella che ha sette minuti o sia m. 0,026 di diametro. 5.° Fune *da mano* dicesi quella che ha di diametro cinque minuti, cioè un' oncia di palmo, che fa m. 0,019. 6.° Segue la fune detta *da cavezzuoli*, che è grossa minuti quattro, vale a dire m. 0,015. 7.° Chiamasi *sorditore* una funicella che ha minuti tre, o sia m. 0,011 di diametro. 8.° Finalmente quello che si denomina *cordino* non è propriamente una fune, ma un semplice cordone di tre fili, che serve a formare archipendoli, a segnar linee sul terreno, e ad altri somiglianti usi.

§. 796. Nella pratica romana hassi per le funi una speciale misura di lunghezza, che dicesi *passo*, corrispondente prossimamente a sette palmi architettonici, o sia a m. 1,56. Si ammette poi dai nostri pratici, che un passo di canapo ordinario pesi libbre otto romane, che equivalgono a chilog. 2,714; d'onde si deduce che il peso d'un metro di canapo sarebbe di chilog. 1,739. E quanto all'altre prefate specie di funi nostrali si pretende che dieno per l'unità di lunghezza, la quale come abbiamo avvertito è il passo, i seguenti pesi: mezzo canapo libbre cinque romane: zaganella libbre quattro: fune da burbera libbre tre: fune da mano una libbra: fune da cavezzuoli once sette: sorditore once quattro. Noi però non possiamo prestare fede a codesti dati, poichè manifestamente aberrano troppo dalla legge, che se non rigorosamente almeno prossimamente dovrebbe regnare fra i pesi delle funi fabbricate dello stesso filo, e con lo stesso metodo: vale a dire che i pesi medesimi nell'unità di lunghezza debbano essere proporzionali ai quadrati dei diametri delle funi. Ma in ogni caso non è difficile di determinare accuratamente il peso dell'unità lineare di qualsivoglia fune per mezzo d'apposite esplorazioni.

§. 797. Un canapo nostrale si stima comunemente capace di sostenere un peso di libbre romane 6000, equivalenti a chil. 2036 circa. Cotesto valore della resistenza assoluta è notabilmente minore di quello, che si dedurrebbe dai risultati delle sperienze del Duhamel, addotti dal Venturoli (1), poichè ammettendo che giusta tali risultati la resistenza sia

(1) Vol. I. Lib. III cap. XVI.

di chil. 520 per ogni centimetro quadrato della sezione della fune, dovrebbe il nostro canapo esser atto a sopportare un peso di chil. 12813. Per le funi ordinarie delle fabbriche di Francia afferma il Bouguer (1) potersi generalmente calcolare, che una fune valga senza pericolo a sopportare tante tonnellate di peso, quante unità sono contenute nel quadrato della metà della circonferenza di essa fune, espressa in pollici di Parigi. In conformità di questa regola il nostro canapo, la di cui circonferenza è di m. 0,176, cioè pollici sei abbondanti, dovrebbe riputarsi più che abile a sostenere un carico di nove tonnellate, o sia 18000 libbre parigine, che corrispondono a chil. 8811. Si scorge che anche questa espressione della resistenza assoluta del canapo è grandemente al di là del menzionato valore, che ad essa viene attribuito dai romani architetti. L'autorità di valentissimi maestri, che hanno avuto tante segnalate occasioni di sperimentare la forza delle nostre funi in imprese di sommo rilievo: e da un'altra parte l'importanza di mettersi assolutamente al sicuro ove si tratti di contingenze, che possono esser cagione di gravi danni, e porre in pericolo la vita delle persone: sono concludenti motivi perchè debbasi preferire ad ogni altra opinione quella de'nostri pratici per la valutazione della resistenza de'canapi impiegati nelle gelose operazioni edificatorie, e debbansi dedurre dallo stesso dato le resistenze dell'altre funi fabbricate ed usitate in Roma; rammentando che in codesta deduzione è più conforme agli ammaestramenti dell'esperienza il supporre che le resistenze delle funi di diverso diametro sieno proporzionate ai loro pesi sotto una medesima lunghezza, di quello che il presumere che tali resistenze seguano la ragione dei quadrati dei diametri (2). Così per esempio, attenendosi a questo secondo supposto, essendo il quadrato del diametro del mezzo canapo al quadrato di quello del canapo :: 4:8 (§. 795), si desume che la resistenza del mezzo canapo sarebbe di chil. 905; ma qualora realmente sussistesse che il peso di questo al peso del canapo, nella stessa lunghezza d'un passo fosse :: 5:8 (§.796), conteggiando più fondatamente sulla prima ipotesi, risulterebbe la resistenza assoluta del mezzo canapo espressa da chil. 1272.

§. 798. Quando nelle manovre meccaniche s'impiegano varie funi, affinchè con le loro resistenze riunite concorrano a sostenere un determinato sforzo, non basta che la somma delle loro resistenze sia proporzionata al bisogno, ma importa grandemente che si abbia la più scrupolosa cura,

(1) *Traité du navire ec* - Lib. I sez III cap. VI.
(2) Venturoli - Nel luogo precitato.

affinchè fin dai primi periodi della loro azione si trovino esse tutte ridotte allo stesso grado di tensione. Accadendo il contrario sarebbe a temersi che dovendo per qualche istante lo sforzo totale essere sostenuto da quelle sole funi, che sono maggiormente tese, finchè l'altre ancora sotto l'azione della forza motrice sieno portate allo stesso grado di tensione, trovandosi le prime stirate da forze superiori alle proprie resistenze, venissero di mano in mano a strapparsi in breve l'una dopo l'altra. Ed è ben facile a scorgere quali gravi danni, e quali funeste conseguenze possono anche derivare da così fatti impensati disordini.

§. 799. È noto che al movimento delle macchine fa qualche ostacolo la resistenza proveniente dalla rigidezza delle funi, destinate ad avvolgersi attorno ad una troclea o ad un cilindro. Per poter mettere a calcolo quando sia d'uopo cotesta specie di resistenza nel giuoco delle macchine architettoniche, bastano l'osservazioni e le norme forniteci dalla meccanica (1); e stimiamo superfluo di aggiungere qui altre dilucidazioni su questo particolare.

§. 800. Le funi destinate nella marina al corredo delle navi sogliono intridersi di catrame, a fine di renderle inaccessibili all'umido, e di preservarle così da quei pregiudizi, e da quel più sollecito deterioramento, cui sarebbero soggette, singolarmente per la perpetua vicenda dell'umido e del secco, a cui di necessità debbono stare esposte. Il metodo che più comunemente si usa è quello d'incatramare i fili prima di formarne i cordoni o funicoli, e con questi le funi. Ma si pratica altresì in qualche luogo, e particolarmente nell'Olanda, di commettere le funi, ed anche le più grosse gomene della marina in bianco, e d'incatramarle dipoi quando sono commesse. Sappiamo però dall'esperienza che le funi impeciate riescono più deboli delle bianche. E siccome poi il cordame riserbato per le manovre architettoniche di rado deve stare nell'acqua, nè va costantemente tanto alla sferza immediata dell'intemperie, siccome accade ne' bastimenti; così non vi è motivo nell'arte delle costruzioni di far uso di funi incatramate, ed effettivamente non se ne fa mai uso, se si eccettui il caso di qualche operazione, o manovra da eseguirsi per mezzo di barche ne' porti di mare. Modernamente nuovi processi sono stati proposti e sperimentati per la concia delle funi, con la mira di aumentarne la durata, come si ottiene per mezzo dell'incatramatura, senza però diminuirne la resistenza. Si è preteso che possa essere utile la concia di vallonea; e si citano

(1) *Ibidem* . cap. XV.

in favore di questo metodo i risultati d'alcune sperienze tentate da Roxburt nell' Inghilterra (1). E recentissimamente dagli annali tecnici ci è stata annunciata la scoperta d'un altro processo, tentato pure nell'Inghilterra, a quanto dicesi con buon successo, per ottenere delle funi più forti, più durevoli, più flessibili, e meno voluminose in parità di peso del cordame che si apparecchia secondo lo stile ordinario per la marina intridendolo di catrame (2). Il processo consiste nel sottoporre la canapa prima di filarla ad una concia, i cui componenti sono il deuto-cloruro di mercurio, comunemente conosciuto sotto il nome di sublimato corrosivo, l'acetato di piombo, e l'allume. Qualora i buoni effetti di questo a d'altri somiglianti metodi venissero decisamente confermati da più replicate esperienze, potrebbe convenire d'introdurne l'uso anche nell'apparecchio delle funi che si destinano alle varie occorrenze dell'arte di fabbricare.

§. 801. Lasciando a parte tutto ciò che risguarda l'arte della fabbricazione delle funi, intorno a che gli studiosi potranno erudirsi su i libri che particolarmente ne trattano, e singolarmente sull'opera dottissima del Duhamel in tale argomento (3); non ometteremo però di far parola d'alcune pratiche generali concernenti la preparazione e la mettitura in opera delle funi per l'esecuzione delle manovre architettoniche, affinchè possano aggiustarsi pel sicuro perfetto e spedito adempimento di quegli offici, cui sono destinate. Spiegheremo dunque 1.° in quali modi si stringono i capi delle funi onde impedire che si scommettano nell'essere maneggiati, e dar loro una forma confacente alle varie occorrenze delle manovre; 2.° come si possono congiungere senza far nodi, o sia impiombare due capi di fune, sia per formarne una sola di due o di molte riunite, sia per unire i due capi d'una stessa fune, a fine di renderla *rientrante o perpetua*; 3.° quali sieno le forme più ordinarie de' nodi o gruppi delle funi; 4.° per ultimo come si formino varie specie di fasciature e d'allacciature di funi intorno ai legni, sia per fortificare provvisionalmente una trave patita, sia per concatenare in modo altresì provvisionale le travi componenti un'armatura per l'eseguimento di qualche manovra. E ci contenteremo di un breve accenno su ciascuna di codeste varie meccaniche disposizioni, esibendone bensì le rappresentazioni in disegno, persuasi

(1) Borgnis. *Traité complét de mécanique appliquée aux arts. Mouvement des fardeaux*. Lib. I cap. II.
(2) *London journal of arts* - Novembre 1827 pag. 136.
(3) *Traité de la fabrique des maneuvres pour les vaisseaux, ou l'art de la corderie perfectionné*.

che all'intellezione di cose di questo genere giovi assai più una semplice figura, di quello che una prolissa dichiarazione.

§. 802. In due modi si dispongono i capi delle funi quando si vogliono stringere, cioè 1.° *a punta*, 2.° *a bottone*. L'appuntatura si fa quando le funi sono destinate ad essere introdotte in un buco o in un canale angusto, come per esempio nelle troclee, acciocchè possano entrarvi con facilità, e senza logorarsi. Si eseguisce nel modo che vien rappresentato nella fig. 329 alle lettere *N*, *O*, legando prima di tutto la fune con uno spago alla distanza di circa m. 0,30 dalla sua estremità, scommettendone quindi i cordoni, ripiegando addosso alla legatura i fili esteriori, tagliando a scaletta i fili interni, in guisa che la loro unione possa formare una punta: calando ed allacciando insieme, uno sì ed uno no, i fili esteriori, e quindi ripiegandoli di nuovo sulla legatura per calare ed allacciare a due a due gli altri fili: e così seguitando alternativamente, finchè sia formata la punta. Quest'operazione si pratica anche ai capi delle gomene (§. 794), trattandone i cordoni, come si è detto che si trattano i fili nelle funi semplici, ed avvolgendo di più la punta così lavorata con ispago intrecciato. Le punte delle gomene e de' gherlini aggiustate in tal maniera chiamansi in linguaggio marino *code di topo* (1).

Si stringono a forma di bottone i capi d'una fune o per impedire che sfuggano da qualche argano, in cui debbano essere ritenuti, ovvero talune volte semplicemente per maggior fortezza di qualche allacciatura. Il bottone si forma nell'estremità delle funi minori per mezzo d'una semplice annodatura, espediente comunissimo. Ai capi delle grosse funi si compone, come vedesi nella fig. 330, scommettendo prima i cordoni, intrecciandoli nella guisa che si rappresenta in *A*, stringendoli come si scorge in *B*, finalmente legandoli come si osserva in *C*. Cotesti bottoni si denominano nella marina gruppi *a piè di pollo* (2).

§. 803. Tre sono le maniere d'unire per lungo, o sia d'impiombare le funi. La prima dicesi *impiombatura lunga* ovvero *piana*, la seconda *impiombatura corta*, la terza impiombatura *a doppio piè di pollo*.

L'operazione dell'impiombatura piana vedesi indicata nella già citata fig. 329, e si eseguisce nel seguente modo. Si pongono a contatto l'uno dell'altro i due tratti estremi delle funi, che si vogliono innestare per una certa lunghezza, per esempio da *I* ad *M*, si storce da uno

(1) Stratico - *Vocabolario di marina* - artic. *coda di topo*.
(2) *Ibidem* - artic. *gruppo*; *piè di pollo*.

dei due capi uno de' cordoni o funicoli componenti, e si passa a far parte dell'altro capo torcendolo nel posto d'uno de' suoi cordoni, che nello stesso tempo sarà stato svolto. Si allacciano insieme in $I$ i due funicoli, nella forma che vedesi rappresentata in $K$, si intrecciano come osservasi in $L$, e si stringono quindi, e si recide ciò che avanza dei funicoli, onde le cose passano in quello stato, che si ravvisa in $M$. Si ripete l'operazione sugli altri funicoli che compongono le due funi, avvertendo di far sì che l'allacciature cadano in diversi punti fra i due estremi $I$, $M$ dell'impiombatura, la quale così trovasi compita, e quanto più si tira, tanto più si stringe, a segno che dopo di aver sentita l'azione di qualche forza traente sotto l'argano, o altra macchina di simil fatta, diventa uguale, strettissima, e ben poco visibile. Sì fatta specie d'impiombatura, atteso che non produce ingrossamento nella fune, è l'unica che possa ammettersi quando si tratta di funi da impiegarsi nelle taglie, ovvero in meccanismi d'altro genere, ove i nodi, e le protuberanze di qualsivoglia forma, opponendosi allo scorrimento delle funi, potessero portare un arresto, o anche semplicemente un ritardo, ovvero un irregolarità nel giuoco delle macchine.

L'impiombatura corta si eseguisce scommettendo gli estremi tratti delle funi che debbono annestarsi, ed intrecciandone tutti insieme i cordoni, senza reciderne porzione alcuna, come può vedersi nella fig. 331. Egli è chiaro che cotesta specie d'impiombatura ingrossa tutto quel tratto della fune, a cui si estende la giuntatura dei due capi.

Finalmente la formazione d'un' impiombatura a doppio piede di pollo consiste nell'annodare a piede di pollo, come testè si disse, tutte due le estremità delle funi, che vogliosi congiungere, in guisa che i due gruppi si afferrino uno con l'altro, il che facilmente si potrà comprendere dalla fig. 332. Questa sorta d'innesto, non meno forte delle due specie precedenti, produce una protuberanza più breve sì, ma però più rilevata dell'impiombatura corta.

§. 804. Aggiugneremo ora una breve enumerazione delle maniere più usuali di annodare o aggruppare le funi per le varie occorrenze delle manovre architettoniche. Si possono distinguere i gruppi o nodi delle funi in quattro classi, dipendentemente dai diversi usi a cui sono essi principalmente confacenti.

Metteremo nella prima classe que' nodi che valgono ad unire insieme due ovvero più corde; de' quali si offrono le seguenti specie 1.ª *Gruppo piano* (fig. 333). 2.ª *Nodo della rete* (fig. 334). 3.ª *Nodo imperfetto*, chiamato dai marinari *gruppo di vacca* (fig. 335). 4.ª *Gruppo a pugno pieno* (fig. 336). 5.ª *Nodo alla bufolara raddoppiato* (fig. 337). 6.ª *Annodatura a boccia* (fig. 338). Il capo $X$ fasciato

e stretto con allacciatura di spago dicesi *assordito*. 7ª. *Legatura a forbice* (fig. 339). Questa è adattatissima quando occorre di attaccare al capo d'una fune diversi altri capi, onde applicare molte persone a tirare contemporaneamente; che è appunto il caso rappresentato nella figura.

Nella classe seconda si comprendono que'nodi, per mezzo de'quali si addoppia l'estremità di una fune per formarvi ciò che dicesi un cappio da afferrare un uncino, un anello, un perno, ovvero anche un corpo di qualche volume. Ne abbiamo varie specie, e sono 8ª. *Mezzo gruppo* con due assorditure (fig 340). 9ª. *Volta a gruppo per braca di botte* (fig. 341). Queste due specie sono più in uso nelle manovre di marina che nell' architettoniche 10ª. *Legatura col cappio scorsoio*, ò *nodo del segatore* (fig. 342). 11.ª *Legatura col nodo a boccia*, col capo *X* che avanza assordito (fig 343). 12.ª *Nodo del tessitore o dell'uccellino* (fig. 344). 13.ª *Nodo raddoppiato* (fig. 345). 14ª. Nodo del *muratore*, che dai marinari è denominato *nodo d'anguilla* (fig. 346). 15.ª *Cappio semplice* (fig. 347). 16ª. *Cappio falso* (fig. 348). 17.ª *Cappio falso* d'altra forma (fig. 349).

La terza specie abbraccia tutti que'nodi, che servono ad allacciare e stringere le fasciature o *brache* di cui si cingono i legnami, le pietre, o altri corpi che vogliońsi sollevare da terra, o trasportare da un luogo ad un altro. Eccone diverse specie. 18.ª *Nodo piano* (fig. 350). 19.ª *Cappio col nodo piano* (fig. 351). 20.ª *Cappio col nodo alla bufolara* (fig. 352). 21.ª *Cappio del barcaiuolo* (fig. 353). 22.ª *Nodo a forbice*, *o del vomere* (fig. 354). 23.ª *Nodo alla bufolara* detto anche *a rete* (fig. 355). 24.ª *Nodo a forbice in anello* (fig. 356). 25.ª *Nodo della cavezza* (fig. 357).

Finalmente nella quarta classe si collocano que' nodi, per mezzo dei quali si può accorciare all' occorrenza una fune senza tagliarla. Di tal fatta è il mezzo gruppo già registrato di sopra nella classe seconda (fig. 340); 26.ª e così pure quel gruppo, cui volgarmente i marinari chiamano *margherita*, e che vedesi delineato nella fig. 358.

§. 805. Per ultimo accenneremo alcune specie di legature o fasciature, che possono farsi con le funi intorno alle travi per fortificarle, o per collegarle nell' armature provvisionali, ovvero per altri bisogni delle manovre architettoniche. Veggonsi queste raccolte nella figura 359 e si distinguono con le seguenti denominazioni. *A volta morta*: *B legatura a fascia*. *C legatura a tanaglia*. *D fasciatura doppia*. *E cintura a campana*. *F legatura a catenella*. *G legatura a tortore*.

§. 806. Fino dagli ultimi anni del decorso secolo fu ideato di sostituire delle funi piatte all' ordinarie funi rotonde in quelle macchine che

i Francesi chiamano *baritel* (1), le quali servono a tirar su le materie dai pozzi delle miniere: sebbene in Francia soltanto nel 1820 siesi fatto prova per la prima volta di cotesto ritrovato alle miniere di Montjean sulle sponde della Loira fra Angers e Nantes. Le funi piatte si compongono tessendo insieme delle funi rotonde per mezzo d'apposite macchine. Godono esse la prerogativa di non esser soggette a scommettersi come le funi ordinarie; ed inoltre quella di offerire un espediente di compensazione, per mantenere l'uniformità delle resistenze ne' baritelli a vapore più semplice, più economico e più sicuro nell'effetto, di quelli che sogliono praticarsi, ove in simili macchine a vapore s'impiegano le funi rotonde (2). Non sarà discara agli architetti la notizia di cotesta recente invenzione, la quale potrebbe forse utilmente essere applicata ad altri casi di meccaniche operazioni.

§. 807. Non è nuovo nella meccanica l'impiego delle catene di ferro in sostituzione delle funi; quantunque la possibilità e la convenienza di sì fatta sostituzione non sieno generali, ma ristrette a qualche caso particolare dipendentemente da certe condizioni non difficili a comprendersi. Le macchine architettoniche, di cui siamo per trattare, ne porgeranno qualche esempio. Le varie strutture delle catene ordinarie, o sia le diverse forme degli anelli o articoli, di cui vanno composte, sono comunemente note. Più specialmente appartiene ad alcuni casi della composizione delle macchine l'uso della catena da orologi, la di cui struttura osservasi rappresentata nella fig. 360; come pure della catena detta di Vaucanson, atteso che questi ne fu l'inventore, organizzata come vedesi nella fig. 361. la quale è stata proposta dal Borgnis per congegnare alcuni meccanismi applicabili alle manovre delle costruzioni, siccome avremo occasione di notare nel progresso di questo libro. È bensì recente l'usanza d'adoperare nella marina le catene di ferro in cambio delle gomene consuete. Il vantaggio che offrono le prime a confronto delle seconde è quello di poter essere manovrate con più facilità su i bastimenti, al quale va unito l'altro che non fa d'uopo d'adugliarle, onde occupano meno spazio sulla nave, e si raccolgono assai più speditamente, facendole cadere dentro le casse destinate a contenerle. Parecchie fabbriche furono già fondate, prima nell'Inghilterra, e quindi nella Francia, per la costruzione delle gomene di ferro. Se ne fanno di due specie, vale a dire ad anelli piani, come si osserva nella figura

(1) Stachette *Traité élémentaire des machines* Paris 1819 cap. III.
(2) *Industriel* aprile 1827 pag. 343.

362, e ad anelli piegati, come si vede nella figura 363. Ciascheduno anello è traversato da una spranghetta di ferro fuso, che vien inserita fra i suoi lati prima che si eseguisca la saldatura, che deve congiungere i lati medesimi; e tale spranghetta non solo serve di fortezza agli anelli, ma in altre impedisce che si raggruppino uno con l'altro, ed esime così le catene da quelle scosse, che sogliono derivare da tali raggruppamenti, e che sono la cagione più frequente che le catene vengono a schiantarsi. Le gomene sono formate di molti pezzi di catena della lunghezza di circa m. 30, i quali si congiungono per mezzo d'anelli d'unione fermati con perni di ferro, come viene indicato nelle due citate figure. L'esperienza ha dimostrato che trattandosi di sostituire una gomena di ferro ad una gomena ordinaria, è necessario che la verga cilindrica, di cui sono formati gli anelli della catena, abbia un diametro alquanto maggiore della dodicesima parte della circonferenza della gomena usuale, di cui la catena stessa è destinata a fare le veci (1). Ci è sembrata questa pure una novità meritevole d'essere conosciuta dagli architetti, per quelle utili applicazioni che potrebbero farsene, segnatamente nelle grandi operazioni delle costruzioni marittime.

## CAPO II.

### *Delle macchine da trasporto.*

§. 808. Le macchine per mezzo delle quali si eseguisce il trasporto delle materie per le vie di terra ne' moltiplici e continui bisogni della civile società, possono generalmente chiamarsi *veicoli*, e distinguersi in due specie; cioè veicoli senza ruote che diconsi *traini*, ovvero anche *treggie*, e veicoli a ruote, cui si dà il nome di *carri*. I traini non possono essere impiegati che sopra buone strade, o nelle quali almeno non s'incontrino forti disuguaglianze. Altronde offrono essi in vero per una parte il vantaggio di poter essere caricati e scaricati con somma facilità, atteso la loro bassezza, e di non esporre il carico a quelle violente agitazioni, cui vanno soggetti i veicoli a ruote; ma per un altra parte nel muoversi sulle strade provano incomparabilmente più dei carri la resistenza dell'attrito, ed esigono quindi sotto ugual carico una forza assai maggiore per essere tirati; oltre di che atteso la stessa loro bassezza aggravano di soverchio i cavalli, o altri animali attaccati immediatamente alla treggia, il qual difetto non potrebbe nè togliersi nè diminuirsi

(1) Navier - *Rapport et mémoire sur les ponts suspendus* - §. 32 e 72.

se non che o facendo uso di tirelle molto lunghe, il che produrrebbe non lieve imbarazzo al varco delle svolte dell' andamento stradale, ovvero applicando le tirelle a dei ritti fissati sul davanti del traino all' altezze del petto de' cavalli, e ciò accrescerebbe la difficoltà del movimento ad ogni lieve intoppo che s' incontrasse sulla superficie della strada, ed in oltre, disponendo la macchina a ruotare intorno al suo lembo anteriore, la renderebbe esposta al pericolo di rovesciarsi, segnatamente nelle voltate del cammino, e farebbe così venir meno quella sicurezza, che costituisce il principale suo pregio. Per sì fatti motivi i traini sono riserbati quasi esclusivamente pei trasporti sulle strade quando vanno coperte di nevi o di ghiacci, sopra cui cotesti veicoli scorrono più spediti e più sicuri de' veicoli a ruote; ond'è che sono singolarmente in uso nelle contrade più settentrionali dell' Europa.

§. 809. De' veicoli a ruote ve n' ha di quelli che ne hanno due soltanto, e chiamansi con particolar denominazione *carrette*: ed havvene di quelli che hanno quattro ruote, ed a questi si dà più specialmente il nome di *carri*. Può convenire l' uso delle carrette ove si tratti di strade in piano ben fatte e ben mantenute nella loro superficie. Ma per le strade montuose, o cattive per l' irregolarità della superficie, questi legni a due ruote affaticano eccessivamente i cavalli, e tengono il carico in un continuo scuotimento, ed in pericolo d' essere rovesciato. Laonde pei trasporti di cose gelose e fragili, e per le vie di montagna, ovvero mal tenute, ragion vuole che diasi sempre la preferenza ai veicoli di quattro ruote, o sia ai carri, i quali meno delle carrette vanno soggetti agli accennati inconvenienti.

§. 810. Le parti primarie di cui vanno composte le carrette, ed i carri sono 1°. le ruote: 2°. le *sale* che costituiscono gli assi materiali intorno ai quali girano le ruote medesime: 3°. il *porta carico*, il quale ha varie forme, secondo le qualità diverse delle materie che vogliansi trasportare, e di cui i membri principali posti uno per parte ed appoggiati sulle sale diconsi *cosciali*: 4.° finalmente i *timoni*, dei quali la carretta ne ha per lo più due formati dalle pratazioni de' cosciali, e diconsi più comunemente *stanghe* ed il carro ne ha uno soltanto, che si diparte dal mezzo della sala anteriore. In una ruota vogliansi distinguere diversi membri componenti, che sono il mozzo, volgarmente conosciuto sotto il nome di *barile*: i *quarti* che ne compongono la materiale circonferenza: i *raggi* che producono il collegamento della circonferenza e del mozzo: per ultimo il *cerchio* di ferro: che cingendo esternamente la circonferenza impedisce che si separino i quarti di cui è composta, e tiene tutt' il sistema saldamente unito.

§. 811. Sarà qui opportuno di addurre alcune generali avvertenze risguardanti la buona costruzione de' carri, e specialmente per quanto

appartiene alla struttura e alla disposizione delle ruote, che sono gli organi dai quali massimamente dipende la speditezza e la regolarità del movimento in questa classe di veicoli.

1. La circonferenza d'una ruota dev'essere perfettamente rotonda, e giacere tutta in un medesimo piano perpendicolare all'asse. È pure essenziale che il mozzo sia esattamente concentrico alla circonferenza stessa. In difetto di tali condizioni il muovimento delle ruote si rende irregolare e stentato, si accresca la fatica agli animali traenti il veicolo ed il carico vien travagliato da periodici scuotimenti, ad onta della bontà della strada che si percorre.

2. Alla facilità e alla regolarità del movimento de'carri è pur contrario l'uso invalso in alcuni luoghi di guarnire all'intorno i cerchi, di cui si fasciano esternamente le ruote, di chiodi di ferro a grosse teste sporgenti. Sarebbe altronde a desiderarsi che le leggi severamente bandissero per ogni dove dalle vie di pubblica occasione i veicoli armati di così fatte ruote, le quali producono continui e gravissimi guasti ne'pavimenti anche più solidi, e sono così cagione d' inceppamento alle sociali comunicazioni, ed aumentano le gravezza della manutenzione delle strade con danno del pubblico erario.

3°. Giova che i raggi sieno disposti in guisa tale, che in vece di giacere tutti in uno stesso piano verticale con la circonferenza della ruota, sieno tutti sulla superficie d'un cono che abbia il vertice in un punto dell'asse, intermedio fra le due ruote, che debbono appaiarsi, e per base il circolo, il di cui perimetro si confonde con la circonferenza della ruota. Il vantaggio che deriva da questa forma conica consiste nella maggiore stabilità che ne acquistano le ruote. Nelle ruote d' ordinaria grandezza, che hanno il diametro di circa m. 1,50 sogliono disporsi i raggi in modo che facciano un angolo di 10.° col piano della circonferenza. Qualunque sia poi la grandezza delle ruote non havvi esempio che cotesto angolo si accresca mai nella pratica dell'arte del carradore oltre il limite di 16.°, di che siamo informati per l'osservazioni del Grobert citate dal Borgnis nel suo trattato di meccanica applicata alle arti (1), dal quale abbiamo desunto la maggior parte di queste nozioni generali intorno ai veicoli, ed a quanto concerne la più vantaggiosa loro conformazione.

4.° È utile che il mozzo sia lungo anzichè no, affinchè abbracciando esso buon tratto dell'asse, impedisca alla ruota di dimenarsi, e per l'estensione della superficie concava di esso, e del corrispondente tratto della

(1) *Mouvement des fardeaux*. Lib. II cap. II.

superficie convessa dell'asse, sieno queste parti meno sollecite a logorarsi pel vicendevole attrito. E giova altresì che il diametro del mozzo sia piuttosto grande, perchè così viene a diminuirsi la lunghezza, e ad aumentarsi la resistenza assoluta negativa de' raggi, e quindi la fermezza della ruota.

5.° È ben fatto che il mozzo abbia un giuoco di qualche piccola estensione sull'asse, affinchè per la facoltà che acquistano così le ruote di scansarsi e dall'una e dell'altra parte, si rendano meno sensibili l'agitazioni del veicolo prodotte dall'irregolarità, che s'incontrano sul cammino.

6.° I quarti delle ruote debbono essere costrutti di legname naturalmente ricurvo. Facendoli molto grossi si rende la ruota soverchiamente pesante; ed all'opposto assegnando loro una scarsa grossezza riescono deboli, ed incapaci de' profondi incastri, che sono necessari per formar fortemente i raggi nella circonferenza della ruota. Convien dunque adottare una misura media; e questa, se non altro dentro certi limiti, è stata segnata dall'esperienza, ed abbracciata comunemente nella pratica. La larghezza de' quarti dev' esser tale, ch' essi possano comportare l'incastro de' raggi senza fiaccarsi.

7.° La speditezza e la regolarità del movimento esigono che le sale sieno perfettamente diritte, e poste ad angolo retto con la direzione del veicolo. Tuttavia ne' leggieri veicoli armati di ruote coniche havvi qualche ragione di costruire le sale un poco incurvate verticalmente, in guisa che le loro estremità, che costituiscono gli assi del movimento delle ruote, sieno alquanto inclinate a basso, ed i piani delle ruote convergano leggermente all'ingiù. Cotesta disposizione tende a far sì che i quarti ed i raggi inferiori passino verticalmente nelle rotaie, o sia nelle tracce già formate sul suolo stradale dalle ruote d'altri veicoli, senza esser premuti sulle sponde delle rotaie stesse, e senza urtare ne' sassi che possono esservi accanto, o per meglio dire sul lembo dello spazio da esse racchiuso.

8.° Ne' veicoli a quattro ruote le due sale debbono essere della stessa lunghezza. Sarebbe invero proficuo alla conservazione delle strade che i carri avessero la sala dinanzi alquanto più corta di quella di dietro; ed appunto pel vantaggio delle strade erasi mosso il governo britannico a tentare che s'introducesse l'uso delle sale disuguali ne' carri destinati a percorrere le pubbliche strade de'suoi dominii; ma siccome cotal disposizione accresce la difficoltà del movimento ne'veicoli, così non fu valevole veruna promessa di premio ad indurre colà i vetturali a conformarsi all'insinuazioni del pubblico ministero.

§. 812. Si fa quistione se le grandi ruote sieno in realtà più vantaggiose delle piccole, e quale sia il diametro da assegnarsi alle ruote per

la miglior costituzione d'un veicolo. Egli è vero che quanto maggiore è il diametro delle ruote, tanto più grande è il momento, con che agisce la forza traente per vincere l'attrito del mozzo sull'asse, e la resistenza che deriva dalla scabrezza e dall'irregolarità del cammino. Ma è pur vero da un'altra parte che quando le ruote sono così alte, che la sala da cui sono ritenute passa sopra l'orizzontale condotta pel petto de'cavalli attaccati al veicolo, una parte della forza esercitata dai cavalli medesimi, ed agente nel piano che passa per l'asse della sala, e per la linea del petto de'cavalli, si consuma a spingere semplicemente le ruote contro terra, e va anzi ad aumentare la resistenza degli attriti. Ed essendo questa porzione di forza, che non solo diviene inutile ma ben anche dannosa al movimento del veicolo, proporzionale al seno dell' angolo fatto dal piano che passa pei petti dei cavalli e per l'asse della sala coll'orizzontale, ne segue che lo svantaggio sarà tanto maggiore quanto sarà maggiore l'elevazione dell'asse medesimo, o sia quanto più grande sarà il diametro delle ruote. In tale contrapposizione di favorevoli e di contrari effetti, che crescono con determinate leggi, secondo che cresce il diametro delle ruote, si è tentato di determinare geometricamente quale diametro si dovrebbe assegnare alle ruote stesse per conseguire il massimo effetto, supponendo data la distanza orizzontale fra la sala e la punta del timone, ove si trova situato il petto de'cavalli attaccati al veicolo; e si è scoperto che il cercato valore del diametro dovrebbe essere tale, che la linea tirata pel petto de'cavalli perpendicolarmente alla sala declinasse anteriormente dalla verticale di gradi 45. Ora nell'ordinaria lunghezza de' veicoli sì fatta condizione esigerebbe che le ruote avessero per lo meno otto metri di diametro. Ma sì smisurate ruote, ad onta degli speculativi loro vantaggi, non possono essere ammissibili in pratica; non tanto perchè diventerebbero eccessivamente pesanti e costose, quanto perchè richiederebbero lunghissime sale affinchè i veicoli non fossero in continuo pericolo di ribaltare, e così pure lunghissimi mozzi per poter esser ferme sulla sala; laonde i carri acquisterebbero una larghezza così smisurata, per cui sarebbe insufficiente l'ampiezza ordinaria non solo delle porte de'palazzi e delle rimesse, ma ben anche quella degl'ingressi di città: sarebbero impraticabili presso che tutti ponti esistenti, e troppo anguste la maggior parte dell'attuali strade. Onde non incorrere in sì fatti inconvenienti si è stabilito in pratica che il diametro delle più grandi ruote non abbia ad oltrepassare due metri; con che il petto de'cavalli si trova alcun poco superiore alla sala, e la forza traente agisce con un braccio di leva presso che uguale al raggio delle ruote.

Ne' legni a quattro ruote è essenziale che le due anteriori sieno più piccole delle posteriori, talmente che nelle voltate possano le prime girare

insieme con la loro sala intorno ad un asse verticale, che passa pel mezzo della sala medesima, senza essere impedite dai cosciali del porta-carico (§. 810.)

§. 813. Un altro punto che ha dato meritamente motivo alle disamine dei dotti si è quello, che risguarda la disposizione più vantaggiosa delle tirelle ne' veicoli a quattro ruote. Molti opinarono che il maggior vantaggio debba risultare dal disporre le tirelle orizzontalmente, vale a dire dal collocare i bilancini alla stessa altezza del petto de' cavalli. Diverse ragioni, convalidate dai risultati dell' esperienza, concorrono tuttavia a dimostrare, che è più utile di porre le tirelle alquanto inclinate, fissando i bilancini più bassi del petto de' cavalli. E il de Parcieux (1), sulla fede d' alcune sperienze da lui istituite, s' indusse a decidere, che la costituzione più vantaggiosa delle tirelle si è quand' esse fanno con l' orizzontale un angolo di 14 in 15 gradi; per lo che si richiede che i bilancini sieno elevati da terra circa la metà del l' altezza del petto de' cavalli: sempre che la lunghezza delle tirelle medesime non sia che quanto basta perchè i garetti de'cavalli non abbiano ad urtare ne' balancini.

§. 814. Le ruote de' veicoli solcano e devastano tanto più prontamente e profondamente le strade quanto più sono strette di quarti. Questa verità ha indotto i più provvidi governi d' Europa ad escludere dalle pubbliche strade que' veicoli, de' quali le ruote hanno i quarti eccessivamente stretti; ed oltre che hanno stabilito il termine infimo di larghezza pe' quarti delle ruote ne' veicoli, che sono destinati a percorrere le strade mantenute a spese dello stato per pubblico comodo, non hanno preterito un altro punto interessante, quello cioè di fissare il limite del peso che può esser permesso d' indossare a que' veicoli, i di cui quarti hanno strettamente di larghezza il detto limite, e nulla più. E per quei carri che debbono essere addetti al trasporto di pesi maggiori, vuolsi che i quarti delle ruote abbiano maggiori larghezze, e con tali discipline, che a qualsivoglia carro non sia permesso di portare un peso superiore ad un certo limite proporzionato alla larghezza de'quarti delle sue ruote. Mentre per una parte sì fatte leggi son rivolte a favorire la buona conservazione delle strade, e conseguentemente la facilità de'trasporti, lasciano altronde al sicuro quanto all'intrinseca attitudine de'veicoli al movimento, essendo stato comprovato dalle sperienze del Rumford, riferiteci dal Borgnis, e dalle attestazioni di molti vetturali, che le ruote larghe, lungi dall'accrescere diminuiscono anzi piuttosto la fatica de'cavalli impiegati a tirare i veicoli, e che

(1) *Mémoires de l' académie des sciences. 1760.*

sono nello stesso tempo più forti e più durevoli delle ruote a quarti stretti. Se non che è da riflettersi che, lasciando la libertà ai vetturali di caricare illimitatamente i carri, purchè le ruote di questi abbiano una larghezza proporzionata al carico, il provvedimento è imperfetto ed inutile; atteso che, come avvertì forse pel primo l'inglese Edgeworth nella sua dotta operetta sulle strade e sui veicoli (1), quando la larghezza de' quarti delle ruote oltrepassa un certo limite, che può stabilirsi di circa 15 centimetri, non è da presumersi ch'esse posino con tutta la loro larghezza sulla superficie della strada, a cagione dell'ineguaglianze, che più o meno esistono in questa, o se non altro della convessità della sua forma: laonde l'azione del carico sulle materie componenti il pavimento della strada non decrescerà per l'aumento della larghezza delle ruote sopra il detto limite, ma sarà sempre la stessa, che se quel maggior carico fosse portato da ruote non più larghe del detto limite. Per la qual cosa il vero vantaggio delle strade, e l'economia della loro manutenzione esigerebbero che la legge si limitasse ad assegnare una giusta larghezza ai quarti delle ruote de'veicoli, e a proibire le ruote più strette; ed a fissare il massimo carico cui fosse permesso di trasportare su d'un veicolo; proporzionatamente alla resistenza delle pietre, che compongono la materiale struttura delle strade: vietando rigorosamente un maggior carico anche a que' veicoli, che avessero le ruote più larghe del limite stabilito. Ed è questo appunto il sistema che presentemente si osserva nell'Inghilterra (2); riconosciutane la convenienza non solo per ciò che risguarda il bene delle strade, ma ben anche per la maggior economia del trasporto delle materie mercatabili.

§. 815. Nell'arte di fabbricare si fa uso di varie specie di veicoli, secondo le diverse qualità, ed il diverso stato delle materie da trasportarsi per le varie occorrenze delle costruzioni. E primieramente pel trasporto a brevi distanze delle terre, della ghiaia, e d'ogni sorta di materiali minuti, si adopera la carriuola, ordigno comunemente noto; che ha una sola ruota, ed è spinto da un semplice operario o manovale, il quale in tale officio dicesi *carriuolante*, ovvero *carriuolatore*. Si conoscono in pratica due maniere di carriuola: la carriuola *alta*, e la *bassa*. La prima, che vedesi rappresentata nella fig. 364, ha la cassa sovrapposta alle stanghe. La seconda ha la ruota più grande

(1) *Essai sur la construction des routes et des voitures; traduit de l'anglois.* Paris 1827.

(2) Cordier - *Essai sur la construction des ponts suspendus ec.* Tom. I. discorso preliminare artic. 2.

della prima, e la sua cassa giace tutta o quasi tutta sotto le stanghe, come si osserva nella fig. 365. La carriuola alta, che si capovolta con maggior facilità per vuotarla: ma esige altresì un tempo maggiore per essere riempita; e del resto le carriuole basse sono da preferirsi, perchè sono meno soggette a vacillare, e fanno provare minor fatica al carriuolatore atteso il maggior diametro della ruota. Osserveremo in generale 1.° che la lunghezza del raggio della ruota, o sia la distanza del suo asse da terra, non deve esser maggiore della distanza da terra delle mani del carriuolatore, che impugnano l'estremità delle stanghe, supponendo applicato alla carriuola un uomo di statura media, e di corporatura ben proporzionata; diversamente il peso della carriuola, e della materia in essa contenuta, produrrebbe un conato opposto all'azione del carriuolatore, onde la macchina si renderebbe tarda al movimento, e richiederebbe una forza maggiore per esser mossa: 2.° che supponendo il raggio della ruota non maggiore del limite ora indicato, quanto più esso raggio si accosterà allo stesso limite tanto maggiore sarà il momento della forza motrice per vincere la resistenza dell'attrito della ruota sul proprio asse; ma da un'altra parte quanto più sarà piccolo il raggio tanto più crescerà l'azione, con cui il peso della macchina e del suo carico cospirerà con lo sforzo esercitato dal carriuolante per ispingere innanzi la carriuola: 3.° che quanto più sono lunghe le stanghe tanto più piccolo è il peso che dev'essere sostenuto dal carriuolatore; e che per altro allungando eccedentemente le stanghe la carriuola diventerebbe troppo pesante ed incomoda, massimamente al principio delle salite, e ne' sentieri intricati e tortuosi: 4.° che decrescendo la distanza fra le due stanghe, o sia la larghezza della carriuola, questa si rende più facile ad essere capovolta e vuotata, ma di due carriuole, che abbiano la stessa capacità e la stessa larghezza, la più stretta affatica più il carriuolante della più larga, poichè gli dà maggior peso da sostenere.

§. 816. Sono queste le principali considerazioni, che potrebbero aprire l'adito alla matematica ricerca delle condizioni, cui dovrebbero soddisfare le dimensioni della carriuola, onde costituire la macchina nel modo più vantaggioso per l'effetto cui è destinata. Ma l'arte non ha d'uopo di ricorrere a cotesta intralciata disamina, dappoichè l'esperienza ha fatto conoscere quale sia la capacità, e quali le dimensioni delle varie parti d'una carriuola, che corrispondono alla maggiore speditezza del maneggio di sì fatto mezzo di trasporto, ed alla maggior utilità dell'effetto della forza ad esso applicata. Ben confacenti a questi due fini sonosi sperimentate quelle carriuole, che hanno incirca di lunghezza m. 1,50, di larghezza m. c. 0,50 e di capacità m. 0,30 o poco più, e che sono sostenute da una ruota avente m. 0,50 circa di diametro. E

tali sono appunto le dimensioni e la capacità, che ordinariamente si assegnano alle carriuole nella Francia, e in quelle parti dell'Italia, ove le frequenti occasioni di grandi lavori, consistenti specialmente in ragguardevoli movimenti di terra, hanno dato motivo di studiar tutti i modi di facilitarne l'esecuzione, e di minorarne la spesa. Ma in Roma, e per molto tratto all'intorno, di questa facilità e di quest'economia poco si è avuto cura fino al presente; mentre pe' brevi trasporti di terra non solo si sono adoperate delle carriuole troppo pesanti, di soverchia capacità, ed incomodissime per la poca lunghezza delle stanghe, e per la picciolezza della ruota, ma comunemente non si è fatto uso che di cofani e di barelle: metodo svantaggiosissimo, siccome or ora si renderà palese.

§. 817. Da alcune ingegnose sue sperienze raccolse il Coulomb (1) che essendo il peso medio d'una carriuola ben conformata di 30 chilogrammi, e potendosi valutare di chilog. 70 il carico medio della stessa carriuola, quando s'impiegano a muoverla uomini vigorosi, l'azione del carriuolante, che spinge una carriuola piena, consiste nel tener sollevato un peso di 18 in 20 chilogrammi, e nell'esercitare una forza muscolare di 2 in 3 chilogrammi; e l'azione del carriuolante stesso, allorchè la carriuola è vuota, si riduce a sostenere semplicemente un peso di 5 in 6 chilogrammi. Calcolando poi giusta i dati delle sperienze del Vauban, esposti in una sua istruzione trascrittaci dal Belidor (2), che con l'opera giornaliera d'un uomo possa una carriuola piena essere sospinta ad una distanza di m. 14613, e rispinta in dietro vuota fino al sito della partenza, se ne deduce che l'effetto utile della forza d'un uomo applicato a simili trasporti, espresso pel prodotto del peso di chilog. 70 per la distanza a cui viene trasportato nel tempo lavorativo d'una giornata, sarà equivalente all'effetto di chilog. 1023 circa portati alla distanza di un chilometro, o sia di m. 1000. E siccome osservò egli stesso, il nominato dotto fisico, che ne' trasporti a schiena l'effetto utile di una giornata d'operaio equivale a circa 692 chilog. portati ad un chilometro di distanza, così ne concluse che l'effetto utile diurno di un uomo, che trasporta dei pesi a spalla, a quello di un uomo occupato a trasportar pesi con una carriuola sarà :: 692 : 1022, o sia prossimamente :: 100 : 148. E ciò appunto dimostra quanto sia svantaggioso ne' trasporti, come abbiamo testè accennato, l'uso delle barelle e de' cofani a confronto di quello delle carriuole: poichè facilmente se ne deduce che

(1) *Théorie des machines simples* - Paris 1821 pag. 280.
(2) *La science des ingenieurs* - Lib. III cap. VIII.

alla medesima distanza si trasporta per mezzo di carriuole da 100. operai quella stessa quantità di terra, che non può esservi trasportata in ugual tempo con meno di 148 operai per mezzo di cofani e di barelle.

§. 618. Non sono molti anni da che fu proposta una carriuola di nuova forma, la quale si pretese che potesse essere utilmente sostituita alle carriuole ordinarie (1). Questa carriuola ha la cassa tutta sopra le stanghe, e non differisce dalla carriuola alta comune, di cui abbiamo non ha guari fatto menzione (§. 815), se non che per la posizione della ruota, la quale in cambio di essere situata al di là della cassa, giace come vedesi nella fig. 366, sotto la cassa stessa, venendo ricevuta la sua parte superiore da un'apertura esistente nel fondo, e ricoperta da un canale volto all'ingiù, che chiude la detta apertura, ed impedisce l'uscita alle materie. La sponda estrema della cassa è amovibile a foggia di saracinesca. Il preteso vantaggio di cotesta nuova disposizione si fa consistete principalmente nell'allontanamento del peso dall'impugnature della macchina, per cui in grazia della particolar forma della cassa, quando le stanghe sono orizzontali, od inclinate verso la ruota, la macchina stessa si converte in una leva di primo genere, mentre nell'ordinaria disposizione si ravvisa un vette di secondo genere; e quindi ne segue che il carriuolante non ha peso veruno da sostenere, e la sua azione si riduce ad un semplice sforzo muscolare. Convien per altro osservare che dovendo tutto il carico essere sopportato dall'asse della ruota, si aumenterà notabilmente la resistenza dell'attrito, e dovrà crescere in proporzione lo sforzo muscolare del carriuolante per vincerlo; oltre di che un qualche sforzo dovranno pure esercitare i muscoli delle braccia per tener basse le stanghe, cui il carico della cassa tenderebbe a sollevare. Egli è pure da notarsi che la capacità della cassa resta diminuita di quello spazio, in cui va a ricoverarsi la parte superiore della ruota, e quindi affinchè questa specie di carriuola fosse capace di contenere quello stesso volume di materia, che cape nelle carriuole ordinarie, sarebbe d'uopo d'ingrandire le dimensioni della cassa, con che si verrebbe ad aumentare di troppo il volume della macchina. Alla per fine vuolsi avvertire che l'amovibilità della sponda anteriore della cassa, lungi dal contribuire alla facilità dello scarico, come si voleva presumere, deve anzi piuttosto ritardarne l'esecuzione; di che si rimane facilmente persuasi se si paragona la fazione a cui si è costretti tutte le

(1) O' Reilly - *Annales des arts et manufactures.*

volte che si vuol vuotare la carriuola mediante questo artifizio, con quel semplicissimo movimento che basta per iscaricare una carriuola ordinaria. In conseguenza di tali riflessioni sembra che svanisca ogni preteso pregio della nuova carriuola, e che non sussista motivo alcuno per introdurne l'uso nella pratica, a preferenza di quello dell'ordinarie carriuole ben conformate.

§. 819. Quando la distanza, a cui debbono essere trasportate le materie, oltrepassa un certo limite, l'uso delle carrette è più economico di quello delle carriuole, siccome apparirà nel seguente libro. La carretta è tirata da uno o da più cavalli in proporzione del carico; e s'impiegano talvolta a tirarla i bovi ed i bufali. Le carrette destinate al trasporto di materie minute, come sono le terre, le sabbie, le pozzolane, il pietrame, i mattoni, ec., hanno il porta carico a forma di cassa, e questa è posta in bilico al suo fondo su d'un asse, che si scosta alcun poco dal mezzo della sua lunghezza verso le stanghe; talmente che la cassa abbandonata su di un tale asse tende ad inclinarsi dalla parte posteriore. Dessa però è sostenuta orizzontalmente da un ritegno amovibile, il quale si toglie affinchè la cassa si abbassi dalla parte di dietro quando è tempo di vuotar la carretta, dopo di aver sollevato la sponda posteriore dalla cassa, che a tal uopo è disposta a guisa di saracinesca. La grandezza della cassa è varia secondo la quantità del carico cui le carrette vengono destinate. Le più piccole casse sono della capacità d'un terzo circa di metro cubo. Le più piccole carrette destinate ad essere tirate da un solo cavallo, sono anteriormente armate di due stanghe che si appoggiano alle spalle del cavallo per mezzo d'opportuni arnesi. A così fatte carrette si possono anche all'occorrenza applicare più cavalli col noto artifizio de' bilancini. Quelle carrette che si fanno tirare da bovi, le quali più particolarmente diconsi *barrozze*, hanno in vece delle due stanghe un solo timone, intorno al quale i bovi vengono aggiogati in quella guisa che tutti ben sanno. Quando le carrette, e così le barrozze, sono destinate al trasporto di legname minuto, di materie insaccate, o di altre simili robe mediocremente voluminose, hanno il portacarico aperto da capo e da piedi, e guernito di sponde soltanto ne' due fianchi; nè tali sponde sono massiccie, come nelle carrette, e nelle barrozze a cassa, ma bensì fatte a guisa di cancello o di scala: onde avviene che chiamansi comunemente in Roma carrette e barrozze *a scala*.

§. 820. Pel trasporto delle terre, o d'altre materie minute a mediocri distanze, adoperasi nella Francia un piccolo veicolo a due ruote, cui si dà la particolare denominazione di *camion*, e di cui la capacità non ascende che ad una quarta parte circa di metro cubo. La cassa è

posta in bilico fra i due cosciali, e giace per la metà circa della sua altezza di sotto, e per l'altra metà di sopra di essi; ed il bilico è situato a piccola distanza sotto il centro di gravità della cassa, talmente che la cassa medesima propende a rovesciarsi, ed è tenuta dritta per forza d'un uncino, che si attacca all'uno o all'altro de' due cosciali, e si scioglie soltanto allorchè occorre di scaricare il veicolo. La figura della cassa è prismatica a base triangolare, come si scorge nella fig. 367, la quale offre in piccolo il disegno d'un camione; ed in grazia di questa forma della cassa succede ch'essa si vuota da se medesima in un istante, e completamente, tosto che sciolto l'uncino, trovandosi abbandonata a se stessa per l'indicata situazione del bilico, viene con somma facilità a rovesciarsi al più leggero impulso che se le dia. Cotesta sorta di veicoli sono indistintamente adattati ad essere tirati da uomini e da cavalli. Per una strada in piano un solo cavallo è capace ordinariamente di muoverne due ripieni di terra, attaccati uno dietro all'altro; e quando si voglia invece di cavalli impiegar degli uomini, se ne richiedono tre per ciaschedun camione. Essendo tali veicoli di provata utilità, a preferenza delle carriuole, e delle carrette, allorchè la distanza del trasporto è racchiusa fra certi limiti, era di ragione di darne qui un breve ragguaglio, quantunque in Italia non se ne sia tuttora introdotto l'uso; e non tralasceremo di tornare nel seguente libro a farne il soggetto delle nostre considerazioni, ove si tratterà dell'economia de' trasporti, affinchè si possa conoscere in quali casi sarebbe conveniente il servirsi di questi, piuttosto che d'altri mezzi di trasporto, ed a quanto potrebbe salire il vantaggio conseguibile con l'uso di essi.

§. 821. Gli ordinari veicoli inservienti al trasporto delle materie minute non sono adattati a trasportare il legname di grandi dimensioni. Lasceremo da parte quegli straordinari mezzi, ai quali suole appigliarsi l'umana industria per estrarre i fusti atterrati dalle foreste, dove non esistono strade carreggiabili, e dove non di rado, quando pure i calcoli economici ne mostrassero la convenienza, la naturale disposizione e le difficoltà del suolo renderebbero difficilissimo e talvolta impossibile di formarle; poichè questo è oggetto che più direttamente appartiene all'arte di governare i boschi, sul quale diffusamente tratta l'opera del Hassenfratz (1), che altre volte abbiamo avuto occasione di citare nel libro secondo. Indicheremo soltanto quei mezzi più usuali che si

(1) *Traité de l'art du charpentier*, cap. III.

adoperano sulle strade ordinarie pel trasporto del legname grosso da costruzione ai luoghi di riposta, ovvero dell'effettivo suo impiego. Si fa uso a tale effetto di due specie di veicoli: gli uni de' quali sono a due sole ruote ed hanno il nome di *codette*, gli altri sono a quattro ruote, e si formano per l'unione di due ordigni a due ruote per ciaschedunó, i quali chiamansi *barrucole*.

§. 822. La codetta, di cui si esibisce una rappresentazione nella fig. 368, consiste in un paio di ruote inerenti ad una robusta sala, sulla quale si appoggia il porta carico formato di due cosciali, che con l'estremità anteriori costituiscono le stanghe del veicolo; e dal termine delle stanghe medesime fino all'estremità posteriori sono collegati da traverse orizzontali, che insieme coi cosciali medesimi compongono una specie di scala a piroli supina. Una particolarità interessante di questo veicolo si è, che la situazione della sala può essere variata a piacimento nella lunghezza de' cosciali, a seconda della lunghezza del legno che devesi trasportare: essendo importante, che corrispondendo l'estremità anteriore del legno stesso all'inforcatura delle stanghe il suo centro di gravità venga prossimamente a trovarsi sotto la sala; affinchè il cavallo delle stanghe non sia aggravato di soverchio peso, nè sia incomodato da uno sforzo, che tragga il suo corpo dal basso all'alto. Si dispongono le cose in modo tale che il fusto da trasportarsi giaccia per terra sotto la codetta, parallelo ai cosciali, e che sulla sua estremità anteriore corrisponda l'inforcatura delle stanghe, sul suo centro di gravità la sala del veicolo. Allora si cinge il fusto con una catena intorno al suo centro di gravità, e si fanno passare i capi della catena stessa sopra un cilindro, o arganello posato per traverso sui cosciali presso la sala, e quindi con un lungo vette si solleva il mezzo del fusto a giusta altezza sotto la sala, e se ne assicura l'estremità anteriore ai cosciali con stretta allacciatura. Si allaccia finalmente una fune all'impugnatura del vette, che con l'altra estremità fa forza sull'arganello, e tiene sollevato il fusto, e la stessa fune si conduce a girare più volte sotto l'estremità posteriore del fusto, e sull'impugnatura del vette, con che si forma una specie di paranco, per cui traendo il capo libero della fune, con somma facilità si finisce di sollevare il fusto alla conveniente altezza, e si trattiene saldamente in tale positura, aggruppando il capo medesimo al vette, o ai cosciali, ovvero allo stesso fusto, secondo che torna più comodo alle mani. Codesta manovra nella sua semplicità è così ben intesa, che per lo più una sola persona ben addestrata è capace di caricar così la codetta d'uno, e talvolta di più fusti di mole e di peso ragguardevole.

§. 823. I grossi fusti di maggior lunghezza si trasportano per mezzo

di barrucole (§. 821). La barrucola è un semplicissimo veicolo composto di due ruote, d'una sala, a cui esse sono infilzate, e di un timone annesso alla sala stessa, come si osserva nella fig. 369. Una sola barrucola può servire al trasporto de' più grossi fusti, purchè sieno di poca lunghezza. Negli arsenali di terra e di mare per lo più non si adopera altro mezzo che questo pel traslocamento de' pesanti pezzi d'artiglieria, che non sono per anco montati sulle proprie carrette. Ma trattandosi di fusti di molta lunghezza, che è il caso che più particolarmente pigliamo di mira, convien servirsi di due barrucole unite una dietro l'altra, in guisa che costituiscano insieme un veicolo a quattro ruote, di lunghezza corrispondente a quella del fusto che vuolsi trasportare. La fig. 370 dimostra un lungo e grosso fusto di legno appoggiato ed assicurato sopra due barrucole, nell' atto che dev' essere trasportato. Giova che la barrucola costituente la parte anteriore del veicolo abbia le sue ruote più basse di quelle della barrucola posteriore, e che il fusto non sia appoggiato immediatamente sulla sala dinanzi, ma bensì sopra un castelletto verticalmente impernato nella sala stessa, onde per tal disposizione resti agevolato il movimento del veicolo nelle svolte delle strade, come ne' legni ordinari a quattro ruote (§. 812). Tale vantaggiosa disposizione è quella appunto che si è voluto rappresentare nella citata figura.

§. 824. Si congiungono ugualmente due barrucole pel trasporto dei grandi massi di pietra. Se non che mentre nel trasporto de' legni le due barrucole non hanno d'uopo d'essere concatenate col sussidio d'appositi membri, atteso che il fusto medesimo legato ad entrambe serve a tenerle unite, e concordi nel movimento: all'opposto quando si tratta di massi di pietra vogliono le due barrucole essere concatenate per mezzo di due cosciali, che servono insieme di porta carico. Da così fatta unione di due barrucole risulta un grosso veicolo a quattro ruote, cui in Roma si dà la denominazione di *barrucolotto*. Se ne offre un piccolo tipo nella fig. 371. I massi di minor mole si trasportano per mezzo di carrette ordinarie a porta carico piano, le quali sono volgarmente chiamate carrette bastarde. Finalmente pei trasporti a brevi distanze di quei massi di pietra, che non pesano più di sei o settecento chilogrammi, si fa uso non di rado di piccoli ma robusti veicoli a due ruote, fatti per essere tirati da sei o da otto uomini. La forma di sì fatti veicoli, comunemente noti sotto i nomi di *carretti* e di *carriuoli*, apparisce in disegno nella fig. 372.

§. 825. I capitelli, i vasi, le statue, ed altre simili opere lavorate in marmo, le quali per la finezza dell'intaglio vogliono essere maneggiate con la più gelosa cura, non possono essere trasportate con metodo più

sicuro di quello che dicesi trasporto *in bilancia*; vale a dire, col far portar il masso intagliato sulle spalle da un numero di robusti facchini proporzionato al suo peso, col semplice soccorso di funi e di stanghe. Ed oltre il vantaggio della posatezza del movimento, per cui il trasporto si eseguisce senza pericolo che resti offeso il lavoro, un altro merito valutabile in questa maniera di trasportare si è, ch' essa tiene i manovali impiegati in un'azione di tal genere, che niuno di essi può esimersi dall' esercitarla di conserva con tutti gli altri per quanto infingardo per indole sua naturale vogliasi supporre; onde non è mai da temersi che possa mancare l'effetto, quando, come si è già detto, il numero degli individui impiegati abbia la debita proporzione col peso che, dev'essere sollevato, e trasportato. Per altro questo metodo non può convenire pel trasporto di articoli molto voluminosi e pesanti, se non che a brevi distanze; e per poco che il viaggio sia lungo è forza valersi di veicoli a ruote, usando delle più particolari cautele per preservarli da quei danni che derivar potrebbero dai sussulti, cui tali veicoli sono quasi inevitabilmente soggetti nel loro movimento. Del resto il trasporto in bilancia è applicabile anche a moli di peso straordinario, presumendosi da accreditati pratici che in sì fatti trasporti possono impiegarsi senza confusione infino a trentadue persone (1).

§. 826. Le grandezze, le forme, le proporzioni de' veicoli a due ed a quattro ruote debbono essere corrispondenti alle qualità delle materie, e alla quantità del peso, cui sono essi particolarmente destinati; alla forza e alla statura delle varie specie d'animali, dai quali vogliousi far tirare; alle varie condizioni delle strade cui debbono percorrere. Non è quindi meraviglia se oltremodo diverse fra loro sono le costumanze de' vari paesi nella costruzione delle carrette e de' carri; sebbene non ovunque conformi, e talvolta anche discordanti dai motivati riguardi, mantenute semplicemente dalla cieca indolenza della maggior parte degli uomini nell' accomodarsi alle inveterate abitudini senza studiarsi di correggerle, o di sostituirne ad esse altre migliori. Si contano in Roma fino a quaranta specie di veicoli a ruote, fra le quali ne nomineremo alcune soltanto a due ruote che più comunemente s'impiegano nel trasporto de' grossi e de' minuti materiali da costruzione, limitandoci ad accennarne gli usi particolari, ed a ritrarne le differenti forme con semplici rappresentazioni in disegno.

1.° La carretta così detta *bastarda* è quella che si rappresenta

(1) *Castelli e ponti di maestro Nicola Zabaglia*. Tav. XVII.

nella fig. 373, ed è destinata al trasporto de' massi di travertino, e d'altre pietre da costruzione con l'impiego de' bovi o de' bufali.

2.° Nella fig. 374 si mostra un'altra specie di carretta bastarda, sulla quale si trasportano parimente i massi grezzi o lavorati di pietra da taglio con l'impiego de' cavalli.

3.° La carretta *a cassa*, la quale serve a trasportare le terre ed i materiali minuti, vedesi rappresentata nella fig. 375. La cassa della carretta è di forma prismatica a base trapezia, ed a tenore degli statuti capitolini dev'esser lunga palmi 6 ed once 4 cioè m. 1,415, alta palmi 2 o sia m. 0,447, larga dal lato posteriore palmi 3, che equivalgono a m. 0,670, e dal lato anteriore palmi 2, che sono come poc'anzi m. 0,447; onde la capacità di essa risulta di palmi romani cubi 31 $^{1}/_{3}$, equivalenti prossimamente a m. c. 0,353.

4.° Havvi un'altra specie di carretta a cassa, adattata ad esser tirata da bovi; e dicesi con ispeciale denominazione *barrozza a cassa*. Di questa si ha una rappresentazione nella fig. 376. La sua capacità è di palmi cubi 48 $^{1}/_{2}$, che corrispondono a m. c. 0,529 circa.

5.° La fig. 377 dimostra un'altra maniera di carretta che si denomina carretta *a scala*, ovvero anche *carrettone da cavalli*, essendo appunto destinata ad essere tirata da questa specie d'animali. Di essa si fa uso pel trasporto del legname da costruzione, e della legna da fuoco.

6.° Finalmente nella fig. 378 si osserva un altro veicolo somigliante al precedente, e adattato agli stessi usi; adattato per altro ad esser tirato da' bovi, ed a cui si dà il nome di *barrozza a scala*.

§. 827. Nella costruzione delle carrette e delle barrozze delle varie specie testè enumerate, e dell'altre che abbiam stimato superfluo di rimembrare, la grossezza della sala si proporziona alle loro portate, vale a dire al massimo peso, cui si vuol renderle atte a trasportare. E tale grossezza della sala serve poi ai costruttori carpentieri di modulo per determinare le dimensioni di tutti i diversi membri del veicolo. Nella pratica de' carpentieri romani alla sala d'una carretta ordinaria della portata di libbre 3000, che fanno chilog. 1018 circa, si assegna una grossezza di once 6, equivalenti ad 11 in 12 centimetri; per una carretta di doppia portata si danno alla sala once 8 di grossezza, cioè m. 0,15 circa; ove la carretta debba servire ad un carico quadruplo, la sua sala si fa grossa once 10, o sia m. 0,19 circa; finalmente per quelle carrette, che debbono portare un carico ottuplo, si adoperano delle sale della grossezza d'un palmo, vale a dire prossimamente m. 0,22. Non si costruiscono carrette di maggior portata di quest'ultima, e pei carichi più ingenti si fa uso di veicoli a quattro ruote.

§. 828. La portata d'una carretta ordinaria è determinata in Roma dagli statuti, o dall'uso, sia in volume, sia in peso, sia in un certo numero d'articoli, per molte specie di materiali da fabbrica, e di vari altri generi di cose: e costituisce sotto il nome di *carrettata* una particolare unità di convenzione pel commercio e pei trasporti di tali materie. Consimili consuetudini sono adottate anche negli altri paesi, ed importa che gli architetti se ne rendano informati, per giovarsene all'opportunità, e segnatamente ne' calcoli relativi alle stime de' lavori. Quelle di Roma sono le seguenti.

1. Un volume di palmi romani cubi 30, equivalenti a m. c. 0,334, costituiscono una carrettata di travertino, o di qualsivoglia altra specie di pietra da taglio.

2. Pei mattoni ordinari, per le pianelle, e pei quadrucci è fissato che una carrettata debba contenere 333 di numero. (pag. 33)

3. Una carrettata di mattoni grossi deve contenerne 166.

4. A fare una carretteta di mattoni quadri ne occorrono 100.

5. Di canali o coppi ne vanno 300 in una carrettata.

6. Di tegole ve ne capono 133.

7. La somma di 100 tegole, e di 100 canali forma una carrettata di così dette tegole maritate.

8. A formare una carrettata di grondali ne vanno 67 (§. 288).

9. Una carrettata di quadrucci, ovvero di bastardoni di lava basaltina per la costruzione delle selciate, deve contenerne 300 (§. 123).

10. Le guide da selciata debbono essere in numero di 30 per comporne una carrettata (§. 125).

11. Di mostaccioli debbono essere il doppio, cioè 60.

12. Una carrettata di pozzolana è composta di scorsi 16, che sono palmi romani cubi 31 $^{2}/_{3}$, equivalenti a m. c. 0,353.

13. Pesi 4 di calcina viva ne costituiscono una carrettata. Un peso è di libbre 400 romane, corrispondenti a chilog. 135,7.

14. Una carrettata di legna da ardere, che con ispecial denominazione chiamasi *passo*, è una catasta di figura parallelepipeda lunga palmi 14, che sono m. 3,13, alta palmi 4 $^{2}/_{3}$, cioè m. 1,06 larga palmi 3 $^{1}/_{2}$, equivalenti a m. 0,78, tale essendo la lunghezza consueta de' pezzi di stanga, che belli e tagliati vengono dalle macchie alle legnaie di Roma. Il volume d'un passo di legna corrisponde quindi a m. c. 2,588.

15. Di fascine così dette *da forno* se ne richieggono 100 a formarne una carrettata. Ciascuna fascina, asciutta e stagionata che sia, suol avere un peso medio di chilog. 7.

16. Una barrozza di fieno è formata di 10 some di libbre 300 l'una pari a chilog. 101,8; onde l'intera barrozza pesa libbre 3000 che sono chilog. 1018.

## CAPO III.

### *Delle macchine semplici impiegate per tirare o per alzar pesi.*

§. 829. Nelle imprese architettoniche d'ogni genere sono frequentissime l'occorrenze di tirare e d'alzare i materiali, per trasferirli dai cantieri stabiliti nell'adiacenze del lavoro, dove in anticipazione sieno stati apprestati ed apparecchiati, come conviene, al luogo preciso, cui è destinato che debbano occupare, o dove in qualsivoglia modo debbano esser messi in opera. Opportunissime a ciò sono le varie specie di macchine semplici, conosciute nella scienza meccanica e dell'impiego di coteste semplici macchine, e della diversa loro attitudine, e delle proporzioni che più si addicono agli organi di cui sono composte, onde trarne il miglior costrutto applicandole all'uopo preindicato, intendiamo per appunto di trattare in questo capitolo. Rimettiamo poi al seguente la considerazione di quei castelli, che sono sovente necessari per armare e per combinare insieme le stesse macchine semplici, onde accomodarle all'intento di muover pesi straordinari traendoli dal basso all'alto. Serbando ora quell'ordine medesimo, che si tiene nella meccanica per lo studio delle macchine, vedremo dunque come possono proficuamente impiegarsi per l'effetto già motivato 1.° la leva, 2.° l'asse nella ruota, 3.° la troclea, 4.° il piano inclinato, 5.° la vite, 6.° per ultimo il cuneo.

§. 830. La leva, cui si dà anche il nome di vette, è il più semplice di tutti i mezzi meccanici per agevolare il movimento de' pesi; e non havvene altro di cui si faccia più frequentemente uso. Si adoperano stanghe di legno, o paletti di ferro in qualità di vetti alle cave delle pietre, ne' grandi arsenali, nell'officine, e per tutto ove occorra di maneggiar gravi massi di pietra, o grossi fusti di legname, o pesanti masse metalliche. Ma oltre questi usi, che possiam dire quotidiani, e ne' quali sono per pratica addestrati i manovali anche più zotici, può convenir talvolta l'impiego di lunghi e vigorosi vetti in qualche più rara occorrenza, ove si ricerchi di muovere per breve tratto una massa di mole e di peso straordinario; siccome ne hanno dato esempio il Fontana, ed il Carburi nell'occasioni di due segnalate imprese meccaniche, memorabili ne' fasti della moderna architettura. Il primo si valse di cinque grosse travi della lunghezza di palmi 70, cioè m. 15,64, in qualità di leve, ed in aggiunta d'una moltitudine di combinazioni d'argani e di paranchi, per sollevare dalla sua base, sulla quale si ergeva nell'antico circo Neroniano, l'obelisco, che fu poi da lui stesso innalzato come lo veggiamo al presente nella gran piazza di S. Pietro in Vaticano, il

quale obelisco fasciato come fu di tavoloni, e di grosse verghe di ferro, si calcolò che fosse dell'enorme peso di chilog. 509016. (1). Il Carbori, nel trasporto del grandissimo scoglio che fu posto per piedestallo sotto la statua equestre di Pietro il grande a Pietroburgo, e del quale notammo altra volta lo sterminato peso (§. 502), approfittò dell'artifizio di grandi vetti della lunghezza di m. 22, ciascuno de' quali era composto di tre antenne affastellate, e strette con fasciatore di funi; ciascuna delle quali antenne alla sua estremità più grossa aveva di diametro 5 in 6 decimetri (2). La convenienza d'impiegare una o diverse leve in simili casi, a preferenza ovvero in concorso d'altri apparati meccanici, deriva dalle circostanze particolari del luogo, in cui si deve operare, dalla grandezza, dalla figura, dalla posizione della massa a cui vuolsi imprimere il movimento, finalmente da quelle varie condizioni, cui può esser necessario che restino adempite nel conseguimento dell'effetto. Ond'è che a tale proposito niuna massima generale potrebb'essere fissata; e che la scelta più opportuna de' mezzi da porsi in opera in somiglianti occasioni è onninamente rimessa al discernimento, ed all'esperienza dell'architetto. La storia delle grandi operazioni di cotal genere, ed il ragionato confronto delle circostanze in cui furono tentate, e de' mezzi che furono con buono o con cattivo successo impiegati per mandarle ad effetto, possono dar molto lume su questo difficile argomento. Qualunque volta poi si conosca potersi convenientemente adottare l'uso delle leve pel movimento di grandi masse; la disposizione opportuna di esse, e la giusta quantità della forza da applicarvisi relativamente all'effetto, che ciascuna è destinata a produrre, vogliono essere fedelmente desunte dalle leggi meccaniche concernenti non solo l'equilibrio, ma lo stato prossimo al moto, ed il moto effettivo dei tre diversi generi di leve; le dimensioni trasversali dei vari bracci di leva debbono essere determinate in guisa, che la resistenza rispettiva di essi rendasi proporzionata agli sforzi delle potenze, onde non possa temersi che tali bracci per la loro debolezza vengano a piegarsi, o a rompersi; nè vuolsi dimenticare di provvedere anche alla solidità degli organi sostenitori (§. 792) costituenti i folcri, affinchè corrispondentemente alla materia di cui sono formati, ed alla loro struttura, abbiano robustezza che basti per reggere agli sforzi che su di essi rispettivamente agiscono (3).

(1) *Castelli e ponti di maestro Nicola Zabaglia* ec. - Tav. XXXIX. Milizia - *Memorie degli architetti antichi e moderni* - Lib III cap. II.
(2) *Monument élevé a la gloire de Pierre le grand, ou relation* ec.
(3) Venturoli - Vol. I lib. V cap. I.

§. 831. L'asse nella ruota serve a molti importanti usi nelle manovre architettoniche, facendo parte come vedremo di molte sorte di macchine destinate alla produzione di vari effetti. L'asse nella ruota quando è di poca grandezza, destinato a qualsivoglia uso, sia isolato, sia faciente parte di qualche macchina composta, assume in pratica le denominazioni di *verricello*, *verrocchio*, *arganello*, *molinello*, o altre simili. Quando poi è di grandi dimensioni sia fisso, sia mobile, ordinato massimamente al movimento di grandi pesi, o ad altri effetti equivalenti, si distingue in due specie, secondo che è conformato ad agire con l'asse di ruotazione orizzontale, ovvero verticale. Nel primo caso la macchina prende il nome di *burbera*; nel secondo caso si chiama *argano*.

§. 832. Le burbere comuni, che volgarmente in Roma diconsi *connocchie*, sono ordinariamente organizzate come vedesi nella fig. 379, hanno ravvolta intorno al cilindro, che in linguaggio di pratica chiamasi *fuso*, una fune, di cui entrambi i capi son liberi, e sostengono due mastelli, dentro i quali si pongono le materie che debbono esser tirate in alto, mentre l'estremità del cilindro sono guarnite di bracci sporgenti a guisa di raggi, i quali vengono impugnati e tirati e respinti secondo il bisogno dai manovali impiegati a far girare o per un verso o per l'altro la burbera, a fine di far salire quello dei due mastelli che è carico, e far discendere l'altro che è stato vuotato, giunto alla sommità della sua salita. Di tali burbere si fa uso per attinger l'acqua dai pozzi, per mandar in alto le terre dai cavi stretti e profondi, per innalzare i materiali che debbono essere posti in opera nelle parti più o meno elevate degli edifici. Le burbere che si destinano all'innalzamento di grandi masse differiscono dalle comuni non solo per la maggior lunghezza e pel maggior diametro del cilindro, ma ben anche per la diversità dell'organo ricevitore (§. 792), il quale in tali casi suol consistere in uno o due timpani, o vogliam dire grandi ruote *a piroli*, ovvero *a tamburo*. Queste sono stabilmente unite ad una o ad ambe l'estremità del cilindro, e formano con esso un sistema mobile intorno all'asse comune. Gli uomini applicati al movimento delle ruote a piroli, e di quelle a tamburo agiscono semplicemente col loro peso. Nella fig. 380 è rappresentata una burbera guernita di due ruote a piroli, di cui si fa uso in Francia, ove è conosciuta sotto la denominazione di *singe*. La fig. 381 mostra la disposizione di una burbera, che ha per organo ricevitore una ruota a tamburo. Le ruote a piroli sono messe in movimento dal peso di vari uomini, che si attaccano con le mani, e si appoggiano coi piedi ai perni o piroli sporgenti orizzontalmente dall'una e dall'altra parte della circonferenza della ruota, a cui sono addetti, e fanno continuamente l'atto di salire esternamente per la circonferenza, intanto che questa corre continuamente

incontro ad essi cadendo da quella parte ove si trova aggravata. Nella ruota a tamburo la circonferenza è fatta internamente a scala, e quivi gli uomini son disposti opportunamente da quella parte, verso la quale si vuol che giri la ruota, ove pure facendo incessantemente l'atto di montare si mantengono ad una distanza costante del piano verticale che passa per l'asse di ruotazione, ed agiscono quindi sempre con un momento costante a tener in movimento la macchina. Le burbere a piroli sogliono adoperarsi nella Francia specialmente per alzar i grossi massi di pietra, che debbono esser collocati nelle parti superiori degli edifici. Le burbere a tamburo s'impiegano per lo più all'uopo di tirare scogli o altri corpi molto voluminosi e pesanti su d'un piano orizzontale ovvero su d'un piano inclinato; e sono singolarmente in uso ne' porti di mare, ove si tengono affisse ai muri delle fabbriche in quei punti della riva, che sono destinati allo scarico degli scogli da adoperarsi per le fondazioni o per le fortificazioni de' moli (§. 581; 582); e de' massi di pietre da taglio riserbati a qualsivoglia uso nell'arte delle costruzioni, o nella statuaria; ovvero stabilmente infisse ai navigli inservienti al trasporto degli scogli, per agevolare il carico de' medesimi, e per disporne anche in altre occorrenze, essendo così la macchina in acconcio ad essere situata qua e là presso le rive a seconda del bisogno. Sarà qui a proposito di dare alcuni generali avvertimenti intorno alla costituzione ed all'effetto di coteste due varietà di burbere, in cui le ruote fanno l'ufficio di organi ricevitori zoodinamici nel modo testè spiegato.

§. 833. L'esperienza ha dimostrato che nelle burbere guernite di ruote a piroli il rapporto più vantaggioso fra il raggio del cilindro e quello della ruota è di 1:12, e che il diametro da assegnarsi alla ruota vuol essere compreso fra m. 3 e m. 6. Le burbere a ruote di diametro minore di m. 3 riescono più costose, più voluminose, e quindi più incomode a trasportarsi, e più imbarazzanti a situarsi dell'ordinarie burbere a bracci, senza offerire un proporzionato compenso nella quantità dell'effetto. Assegnando poi alle ruote un diametro maggiore di m. 6, la macchina diventa eccessivamente voluminosa e pesante, e pigra nell'effetto per la troppa resistenza degli attriti. Ora supponendo che sussista fra il raggio del cilindro a quello della ruota il prescritto rapporto di 1:12, e valutando il peso medio d'un uomo, per istare ben al sicuro, di soli chilog. 65 (§. 268, 322), supponendo questo peso applicato all'estremità del raggio orizzontale della ruota, si deduce dalle dottrine meccaniche (1) ch'esso s'equilibra con un peso di

(1) Venturoli. Vol. I lib. V cap. IV.

chilog. 780 pendente dall'estremità dell'opposto raggio orizzontale del cilindro. Ma siccome, per destare e mantenere il movimento nella macchina, una parte della forza si perde nel vincere la resistenza degli attriti: e siccome inoltre importa generalmente nelle macchine destinate al movimento de' pesi che la potenza abbia un valore maggiore di quello che rigorosamente basterebbe ad indurre il moto, ond'evitare che per qualche accidentale aumento di resistenza, o difetto di forza la macchina abbia a concepire un movimento retrogrado, pernicioso non solo alla regolarità e alla speditezza dell'effetto, ma pericoloso ben anche per le persone impiegate nella manovra; così per consenso de' più intelligenti e sperimentati si è stabilito che l'azione di ciascun uomo nelle ruote a piroli non debba valutarsi più che di chilog. 500, vale a dire che tale debba essere la relazione fra il peso da sollevarsi e il numero degli uomini applicati alla macchina, che ad ognuno di questi non tocchi di parte propria un peso maggiore di chilog. 500. Sussistendo tale corrispondenza fra la forza ed il peso, fermo il preindicato rapporto fra il raggio del cilindro e quello della ruota, l'esperienza ha dimostrato: che la circonferenza della ruota conserva tra il più e il meno nel suo movimento una velocità di 21 in 27 centimetri per minuto secondo: e che giammai accade che il movimento si arresti o diventi retrogrado per quelle cagioni eventuali, che possono ordinariamente parlando aumentar la resistenza, o minorar la potenza nell'impiego di sì fatte macchine, riducendosi semplicemente l'effetto di tali anomalie a rendere per qualche istante la velocità del movimento minore di quanto abbiamo testè notato. E poichè il massimo numero degli uomini che possono essere applicati ad una burbera guernita d'un paio di ruote a piroli, è di sei o di otto al più, si deduce che il massimo effetto conseguibile con una macchina di tal fatta è d'alzare dei pesi di 3, o di 4 migliaia di chilogrammi al più.

§. 834. Inerendo alle conseguenze che il Borgnis ha potuto dedurre dall'accurate sue osservazioni, nelle lunghe occasioni ch'ebbe di far costruire, e d'impiegare delle ruote a tamburo per effetti di vario genere, possiamo stabilire alcune interessanti norme in ordine alla costituzione ed all'effetto di tali ruote. E primieramente importa d'avvertire aver dimostrato l'esperienza che il diametro più confacente alle ruote di cui si tratta è di cinque in sei metri; poichè se sono più grandi riescono troppo voluminose e pesanti, e producono soverchio attrito; e quando si facciano più piccole rendono più penoso l'esercizio di coloro che dentro di esse debbono agire per tenerle in movimento; i quali se il diametro della ruota fosse minore di m. 4 sarebbero anche esposti al pericolo d'urtare col capo nell'asse materiale della ruota

stesso. Ritenendo poi, come si è detto per le ruote a piroli, fra il raggio del cilindro e quello del tamburo il rapporto di 1:12, può valutarsi che quando si tratti d'un'azione continuata, facendo gli uomini l'atto di camminare con una velocità di sette decimetri per minuto secondo; e mantenendosi costantemente ad una distanza orizzontale dall'asse di ruotazione uguale ad un terzo circa del raggio del tamburo, per ciascuno degli uomini tenuti in azione la macchina sia capace d'alzare un peso non maggiore di chilog. 150. Che se l'azione debba essere di breve durata, ovvero interrotta da frequenti e lunghi riposi, potrà assegnarsi a ciascheduno degl' individui impiegati un peso da sollevarsi di chilogrammi 500, nel qual caso gli uomini faranno l'atto di camminare con una velocità di uno o di due decimetri al più per secondo, e si troveranno costantemente ad una distanza orizzontale dall'asse uguale a due terzi almeno del raggio della ruota. Ove finalmente la burbera a tamburo debba essere effettivamente impiegata a tirar su dei pesi a considerabile altezza l'azione di ciascun uomo agente sulla ruota, non può valutarsi capace che di alzare chilog. 380 a dir molto. Per quelle operazioni nelle quali si richiede l'azione di tre o quattro persone e non più, queste si fanno agire tutte in una stessa fila, e si ottiene così il vantaggio di aver la potenza tutta raccolta sopra una stessa linea alla distanza più favorevole dall'asse, ove spiega il massimo momento; e si costruiscono a tal fine le ruote di larghezza adattata a poter contenere tre o quattro uomini schierati. Ma se le ruote debbono esser destinate per operazioni, che esigono l'impiego di più di quattro persone, piuttosto che allargar di soverchio il tamburo, è più conveniente di aumentarne il diametro fino a sette ed anche ad otto metri, per potervi disporre internamente gli uomini in due file, che agiscano di concerto, una dietro l'altra. Per lo più esteriormente alla circonferenza del tamburo si affiggono de' perni di legno, ovvero si ravvolgono delle funi fermate in vari punti, affinchè così quelli come queste possano essere impugnate e tirate da altre persone, che coadiuvano per tal modo l'azione della potenza interna per tenere in movimento la ruota.

Il travaglio di far girar le ruote a tamburo è uno de' più penosi a cui l'uomo possa essere condannato; ed il fatto ha dimostrato che le complessioni più robuste non reggono lungamente a tal esercizio, e ben presto si ammalano, se debbono ogni giorno esservi sottoposte anche per poche ore, senza che queste sieno interrotte da intervalli di riposo. Per la qual cosa massimamente l'uso di sì fatte ruote non si addice a quelle operazioni che esigono lungo tempo per essere eseguite, e che non comportano interrompimenti; ma può bensì essere a proposito in quelle operazioni che sono di breve durata, qual'è

l'innalzamento dei pesi a discrete altezze; ed altresì in quelle, che ammettono frequenti riposi, quale si è l'espurgo dei porti, come vedremo in appresso a luogo opportuno (1).

§. 835. Le due considerate maniere di ruote zoodinamiche hanno in se diversi essenziali svantaggi, cui non vogliamo omettere di avvertire. In grazia dell' eccessiva loro grandezza sono malagevoli ad essere trasportate da un luogo ad un altro, ond'è che segnatamente quelle a tamburo non si confanno a quelle macchine, in cui si ricerca il comodo dell' amovibilità, se si eccettui il caso, in cui questa debba dipendere dall' essere la macchina permanentemente portata da un bastimento, sul quale possa esser condotta a piacimento per acqua or qua or là, ove ne possa occorrere l'uso. Parimenti atteso la loro mole occupano molto spazio, e quindi accade che non sono adattabili a luoghi chiusi od angusti. E di più per l'enorme loro corporatura sono assai costose a costruirsi e a mantenersi, e, ciò che più rileva, riescono pesantissime, ed oppongono alla potenza un attrito assai vigoroso. Si aggiunga che tali ruote, quantunque sì grandi, non ammettono che al più l'impiego di otto persone, per lo che essendo così limitata l'azione della forza motrice ad esse applicabile, viene ad essere ben limitato anche il valore del massimo sforzo, che può prodursi per mezzo di così fatti meccanismi; che per esse non si trae tutto quel profitto dal peso degli uomini impiegato come motore, che si potrebbe ottenere con altre specie d'organi ricevitori, poichè tal peso massimamente nelle ruote a tamburo, non trovasi applicato all'estremità del raggio orizzontale, ove agirebbe col massimo momento, ma a minor distanza dall'asse di ruotazione; e che finalmente non è mai sperabile che gli uomini in sì fatto esercizio agiscano uniformemente e di pieno concerto; onde l'effetto delle macchine, che ricevono il movimento per mezzo di cotesti ricevitori zoodinamici, deve andar necessariamente soggetto a qualche irregolarità. Avvi tuttavia di vantaggioso nelle ruote a piroli, e a tamburo, che iniziato una volta il movimento, gli uomini posti in azione non possono più desistere, a meno che tutti non si accordino insieme con quelli che sono semplicemente intenti a regolar la manovra, a volere arrestare con le necessarie cautele la macchina. Per lo che tali ruote sono in ispecial modo adattate nell'operazioni da eseguirsi con l'opera di schiavi, o di malfattori condannati ai lavori pubblici, ovvero anche da uomini liberi o scapoli come sogliono chiamarsi nella marina, i quali essendo tenuti a giornaliero o a mensile stipendio, e non essendo quindi stimolati dall'interesse ad operare con energia, hanno d'uopo d'esservi costretti o da un'indefessa e rigorosa sorveglianza, o dalla necessità di evitare le sinistre conseguenze della loro pigrizia.

(1) Borgnis - *Mouvement des fardeaux* - lib. I cap. V.

§. 836. Alle ruote ordinarie a tamburo, di cui abbiamo parlato, si è proposto, non sono molti anni, di sostituirne altre di foggia diversa, le quali sono conosciute sotto la denominazione di ruote *albertiane*, dal nome di Albert che ne fu l'inventore. La ruota *albertiana*, che vedesi delineata nella fig. 382, ha la sua circonferenza guernita esternamente tutt'all'intorno di gradini, praticabili allorchè nel giro della ruota vengono a trovarsi in $A$ presso un solaio orizzontale $mn$ che giace nel piano condotto per l'asse del tamburo. Questo solaio è coperto da una capanna, che serve a difendere dall'intemperie le persone destinate a muover la ruota. Una scala a piroli $BC$ fa strada ad ascendere sul detto solaio, d'onde gli uomini salgono sugli scalini che si parano loro di mano in mano innanzi, e col loro peso imprimono alla ruota il movimento. Si vede che in tal modo la potenza, cioè il peso degli uomini applicati alla circonferenza della ruota, agisce col massimo momento, il che costituisce il gran vantaggio di queste ruote sopra i tamburi ordinari, coi quali ha del resto comuni tutte l'altre svantaggiose proprietà, che furono dianzi accennate. All'azione che gli uomini esercitano col loro peso si è preteso di aggiugnere anche uno sforzo muscolare, per lo che ciascuno di coloro, che fanno l'atto di salire per l'esterna circonferenza del tamburo, ha ravvolte sulle spalle due cigne, delle quali i capi inferiori sono fermati al solaio $mn$, onde servono ad esso di punto d'appoggio per ispingere a basso gli scalini, pei quali ascende, con la forza de' muscoli delle coscie e delle gambe; sebbene non senza ragione dubita il Borgnis (1) che a stento, e per breve intervallo di tempo possano resistere a questo genere d'azione accessoria, anche gl'individui di più robusta complessione. Alla ruota va annesso il sistema dei due vetti $E$, $E$, e della fune $LLL$, il giuoco del quale serve ad arrestare immantinente il movimento, tutte le volte che occorre di sospendere l'esercizio della macchina.

§. 837. Di gran vantaggio può riuscire talvolta il far uso d'una burbera, che abbia il cilindro o fuso tutto d'un pezzo sì, ma scompartito in due tratti, dei quali l'uno abbia un raggio maggiore dell'altro, come vedesi nella fig. 383. Una stessa fune è ravvolta in senso contrario e sull'uno e sull'altro dei due tratti del fuso, e pende inflessa dai medesimi, tenendo sospesa una traclea, a cui è affidato il peso, che deve essere sollevato. In tale disposizione della macchina lo stato d'equilibrio è determinato dalla condizione che la potenza stia al peso come la semi-differenza fra i due raggi disuguali del fuso sta al raggio della circonferenza descritta dalla potenza, o sia alla distanza della direzione

(1) Nel luogo citato.

della potenza dell'asse di ruotazione. Vedesi dunque che tanto più piccola sarà la potenza, che potrà far equilibrio con un determinato peso, quanto minore sarà la differenza fra i raggi dei due tronchi del cilindro, e che quindi potendosi impiccolire oltre qualsivoglia limite cotale differenza, potrà la macchina disporsi a modo che una tennissima potenza sia capace d'equilibrare e d'alzare un peso grandissimo. Nè havvi altra macchina per cui codesto intento possa ottenersi con maggior facilità. Questa burbera ripartita ha pure un'altra interessante prerogativa, la quale nasce dal gran vantaggio che acquista la potenza sul peso, stante l'accennata condizione d'equilibrio; ed è che la sola resistenza dell'attrito basta ad impedir la discesa d'un peso anche più che mediocre, sebbene la potenza cessi d'agire: ond'è che adoperandosi così fatta burbera per l'alzamento de' pesi, l'operazione può sospendersi quando si voglia, ed allontanarsi il motore, senza perdere il frutto della forza fin lì impiegata, e senza pericolo di verun sinistro accidente. A fronte di tali pregi la burbera ripartita ha però alcuni rimarchevoli difetti. Uno si è l'eccessiva lunghezza che occorre nella fune, per poca che sia l'altezza a cui dev'essere alzato il peso. Un altro consiste nell'obliquità delle due funi che sostengono il peso. Si possono diminuire tali inconvenienti separando le due parti del fuso, o per meglio dire adoperando due fusi staccati e paralleli, di diametri disuguali, come vedesi nella fig. 384, e rendendo questi due fusi dipendenti l'uno dall'altro, talmente che l'uno non possa girare senza indurre il movimento rotatorio anche nell'altro, sia per mezzo d'una fune rientrante, come per l'appunto si dimostra nella figura, sia per l'interposizione d'un rocchetto che ingrani ne'denti di due ruote, annesse l'una all'uno l'altra all'altro dei due fusi. Tuttavolta neppure con tale modificazione non può la macchina essere adattata per alzar pesi ad altezza maggiore di tre o quattro metri al più; e quando ha la conformazione indicata nella fig. 383 non può essere adoperata che per tirar su un peso al più per un'altezza di due metri. Vedremo in appresso come la burbera bipartita possa opportunamente far parte d'alcune macchine composte dirette all'alzamento di gravi masse, ed essere anche utilmente impiegata per altri analoghi effetti.

§. 838. Nell'argano il cilindro o fuso è ritenuto in positura verticale dentro un castello, che dicesi anche *cassa*, o *gabbia* dell'argano. Il fuso sporge alquanto superiormente dalla cassa, ed ha la sommità guernita di braccia, a guisa di raggi orizzontali, alle quali vanno applicati gli uomini o gli animali destinati ad imprimere il movimento alla macchina. Dal piede del fuso istesso esce un perno di ferro, il quale va introdotto in una ralla parimenti di ferro inerente al

fondo della gabbia. Passa poi il fuso per una corrispondente cavità circolare aperta nel coperchio della gabbia medesima; ed è così evidentemente disposto a girare liberamente intorno al proprio asse. In alcuni argani il coperchio della cassa, anzi che essere bucato per ricevere il fuso, non si estende che dall'estremità anteriore della gabbia, da quell'estremità cioè che deve guardare il peso da tirarsi, sino all'asse del fuso stesso, cui abbraccia per metà mediante un taglio semicircolare, nella quale poi esso è ritenuto da una fune, che lo cinge, ed è assicurata ai membri superiori della gabbia, come appunto suol praticarsi nell'argano romano, di cui in breve faremo parola.

§. 839. Nella fig. 385 si rappresenta un argano di forma usitatissima. La sua parte posteriore è legata ad un robusto palo $P$, fitto profondamente in terra. Al fuso $f$ si ravvolge con diversi giri una fune, di cui un capo $c$ va ad afferrare il carico da tirarsi, ed il capo opposto $e$ è consegnato ad un manovale, il quale assiso in terra presso la macchina, con la faccia rivolta verso il carico, è destinato a tenerlo stretto sul fuso, e ad adugliare la fune a mano a mano che si viene svolgendo. Applicata la forza necessaria ai bracci $b, b, \ldots$ dell'argano, facendo essa girare il fuso, e traendo con nuovi giri intorno ad esso la fune $c$, tira pure verso la macchina il peso, cui si attiene la di lei estremità.

§. 840. Di mano in mano che il carico è tirato innanzi verso la macchina, la fune fascia con nuovi giri il fuso, e giunge a poco a poco a cuoprire tutta la parte inferiore di esso fino al fondo della gabbia. Allora poi si rende impossibile la prosecuzione della manovra, ed è forza di sospenderla, per non ripigliarla che dopo di avere sfasciato il fuso, e di aver disposto nuovamente le cose come da principio. Queste inevitabili periodiche sospensioni della manovra, oltre che son cagione di non lieve perdita di tempo, diventano anche imbarazzanti e pericolose quando s'impiega l'argano non già a tirare orizzontalmente un carico, ma a sollevarlo, combinandolo opportunamente a tal uopo con altra macchina, come vedremo andando innanzi. L'accademia delle scienze di Parigi con un problema che propose l'anno 1739, e poi di bel nuovo l'anno 1741, impegnò i dotti di quel tempo ad immaginare qualche opportuno espediente, onde togliere all'argano questa rimarchevole imperfezione; ma i ripieghi che furono in tale occasione proposti in varie memorie presentate al giudizio dell'accademia, son lungi dal offerire quella semplicità, che sarebbe necessaria, per poterli abbracciare proficuamente nella pratica. Altrettanto può dirsi d'alcune più recenti invenzioni tendenti al medesimo oggetto; senza eccettuare quella

dell' ingegnere geografo Cardinet, riferitaci dal Rondelet (1), quantunque per le favorevoli relazioni dei celebri Lagrange, e Borda abbia ottenuto un premio dal governo francese l'anno 1794.

§. 841. Ma intanto che si studiava infruttuosamente di assegnare un acconcio rimedio al motivato inconveniente proprio degli argani a fuso cilindrico, già da tempo immemorabile si conosceva, e si adoperava dai costruttori romani un argano, il quale per una semplicissima particolarità, consistente nella forma conica del fuso, si esime affatto da tale difetto. Ed il medesimo Rondelet (2) non tralasciò di osservare che per tale forma del fuso l'infimo giro della fune, essendo naturalmente più stirato degli altri, fa forza su di essi, e li respinge in alto per istabilirsi nel posto che era occupato da quello, ch'era stato l'ultimo a formarsi.

La gabbia dell'argano romano architettonico (fig. 386) è di pianta trapezia. La parte anteriore è la più larga, la posteriore è la più stretta. La lunghezza di essa gabbia suol essere di palmi 10, equivalenti a m. 2,23: essa è larga nella parte anteriore palmi 6, cioè m. 1,34, e nella parte posteriore palmi 3, o sia m. 0,67: alta palmi 4, che fanno m. 0,89. È composta di quattro colonnette verticali *P, P, P, P*, della riquadratura d'once 9, vale a dire m. 0,17 circa, e di quattro *cosciali C, C, C, C*, orizzontali, due superiori e due inferiori, della riquadratura medesima di m. 0,17. Il fondo o della cassa, ed il suo coperchio *e*, sono formati di tavoloni della grossezza di once 3, pari a m. 0,056. La lunghezza del fuso è di palmi 9, che sono prossimamente m. 2, compreso il cappello, a cui vanno infilati gli aspi, ed il perno, che penetra nel fondo della cassa. Il diametro inferiore del fuso stesso è di palmi 3, cioè m. 0,67. Il suo piede è tagliato tutt'all'intorno a sguscio; e quindi si assottiglia gradatamente il fuso, in modo di assumere la prefata forma di cono tronco. Esso è fortificato in vari punti con buone cerchiature di ferro, onde possa sopportare il grave sforzo, cui è destinato, senza schiantarsi. Ciascuno degli aspi *B, B, B, B* è lungo palmi 15, corrispondenti a m. 3,35. Dalla parte anteriore presso i piedi delle due colonnette giace appoggiato sui cosciali inferiori un regolo di legno, denominato *stanghetto*, il quale serve a sostenere la fune traente ad un'altezza costante.

Tali sono la disposizione e le dimensioni dell'argano, che con ottimo successo è stato adoperato dai moderni architetti romani in tante segnalate operazioni meccaniche di trasporto, e d'erezione d'obelisci,

(1) *Art de bâtir* -- Lib. VI sez. II artic. VIII.
(2) Ibidem.

di movimenti di colonne, e d'altre pesantissime masse. A tali argani si possono anche applicare come motori dei cavalli. Dei quaranta argani di cotal forma, di cui si valse il Fontana pel traslocamento, e per l'erezione dell'obelisco del Vaticano, ciascuno era mosso dalla forza di sedici persone, coadiuvate dall'azione di due cavalli (1).

§. 842. Importa che l'argano nell'atto della manovra sia perfettamente immobile, e quindi che sia ben assicurato al palo di ritegno (§. 839), cui alcuni pratici danno il nome di *uomo morto*: e che questo sia non solo robusto e fitto saldamente in terra, ma ben anche fortificato vigorosamente dalla parte dell'argano, affinchè per la cedevolezza del terreno non possa venire smosso dalla forza, che lo trae da quel lato. Ed è facile a comprendersi che lo slentarsi del palo stesso, rendendo libero l'argano, annullerebbe l'effetto della manovra; e che accadendo ciò repentinamente nel progresso dell'operazione, potrebbero derivarne i più seri sconcerti, non senza grave pericolo de'travagliatori: segnatamente quando si tratta di tirar sospese in alto pesanti masse, impiegando a tal nopo l'argano combinato opportunamente con altre macchine. Si ravvisa nella fig. 387 in qual modo possa essere fortificato un palo di ritegno in questo ed in altri simili casi.

§. 843. Paragonando l'argano con le grandi burbere a ruote, di cui abbiamo poc'anzi parlato, si scorge come quello ha su di queste il vantaggio di poter essere facilmente trasportato da un luogo ad un altro; che ammette l'impiego d'una forza assai maggiore, e quindi è atto alla produzione di molto più grandiosi effetti, essendovi degli esempi massime nella marina, di grandi argani mossi da 100 persone, ed atti a produrre uno sforzo equivalente al peso di 15000 chilogrammi; finalmente che per la posizione verticale del fuso non contribuiscono in esso, come in quelle, ad aumentare l'attrito, ed il peso proprio della macchina, e quello degli uomini impiegati a muoverla. Per altro la manovra dell'argano esige uno spazio libero molto maggiore in lunghezza ed in larghezza di quello che viene occupato da una delle più grandi burbere a tamburo; ond'è che in certi casi l'angustia del sito, che le circostanze concedono per operare, obbliga ad anteporre la burbera all'argano, malgrado gli annunciati vantaggi che offre il primo in comparazione della seconda.

§. 844. I grossi massi di pietra, che debbono essere tirati orizzontalmente per mezzo di argani o di burbere, vogliono essere montati sopra appositi traini, consistenti in semplici riunioni, ovvero in telai formati di robusti legni, più o meno grandi secondo la mole delle pietre che debbono

(1) *Castelli e ponti di maestro* Niccola Zabaglia.

andarvi addossate. La fig. 388 dimostra la composizione d' un traino usitato in Roma, e conosciuto sotto il nome di *nizza*. Esso è formato di tre travi uniti longitudinalmente costa a costa, dei quali l' intermedio $A$ è più corto dei due laterali $E, E$. I tre membri componenti sono strettamente connessi per mezzo di chiavarde di ferro. Due di tali chiavarde $q, q$ sono poste presso le due estremità della nizza, ove i due membri laterali oltrepassano quello di mezzo; onde nell' intervallo fra i primi l' asta della chiavarda rimane scoperta, e serve per attaccarvi il capo della fune, ovvero di quel sistema di funi, per cui deve operarsi il tiro della nizza carica. Gli uncini laterali $u, u$ son destinati ad essere afferrati da altre funi, col mezzo delle quali si possa regolare la direzione del movimento della nizza. Questa si fa scorrere sopra una serie di travicelli insaponati $t, t, t, \ldots$, che chiamansi *parate*, i quali di mano in mano che restano abbandonati dietro al traino, s' insaponano di bel nuovo, e si dispongono per traverso lungo il sentiero, che la nizza deve progressivamente percorrere.

Per gli scogli di maggior mole si adopera un' altra specie di traino, che chiamasi *lesina*, ed altro non è che un robusto telaio composto di due travi longitudinali, e di tre trasversali, il quale si fa scorrere sopra forti curri cerchiati di ferro, e perforati qua e là, onde poterli maneggiare per mezzo di paletti di ferro: i quali curri si ripongono sotto la lesina dalla parte anteriore a mano a mano che procedendo il traino rimangono liberi dalla parte posteriore. Di così fatti traini si fa uso alla cava degli scogli presso Civitavecchia, per approssimarli alla riva del mare, d' onde vengono poi imbarcati e trasportati in quel porto, per essere ivi affondati intorno ai moli, ed all' antemurale, a fine di formarvi una inespugnabile fortificazione contro la violenza delle burrasche. Ed in questi ultimi anni, da che si è conosciuto il vantaggio di sostituire grossissimi scogli ai piccoli di cui prima si era sempre fatto uso, se ne sono portati e messi in opera alcuni fra gli altri di mole smisurata, e taluno come già si disse (§. 582) del ragguardevole volume di m.c.30; e questi col semplice mezzo delle lesine si sono tirati, e si tirano con incredibile speditezza dai vari punti in cui giacciono nel recinto della cava fino sui *pontoni*, che sono barche piatte, fatte a bella posta per trasportare per mare nell' interno e ne' dintorni de' porti i grossi materiali, e per servigi d' altro genere nelle costruzioni marittime. Cotali legni da trasporto non hanno nè remi nè vele, ma ordinariamente la navigazione di essi succede o per rimurchio, o per tonneggio, che volgarmente dicesi *gegomo*.

§. 845. Il movimento de' pesi può essere agevolato di molto mediante i sistemi di ruote dentate, e le combinazioni di così fatte ruote con

righe o spranghe dentate; i quali sistemi, e combinazioni costituiscono le così dette macchine *ad ingranaggio*. Tuttavia è rarissimo l'uso di tali meccanismi nelle manovre architettoniche, atteso la difficoltà di comporne delle macchine che si adattino a tutte le diverse circostanze di luogo, ed alle varie condizioni che possono essere prescritte dalle particolarità de' casi; ma principalmente in grazia del costo eccessivo di questa sorta di macchine, e della continua spesa che richiedesi per la manutenzione di esse, che sono estremamente delicate e soggette a sconciarsi. L'unica macchina di questo genere, di cui si fa comunemente uso, è il *martinetto*, e segnatamente nell'officine de' carpentieri e degli scarpellini nell'occorrenze di sollevare pesanti masse per breve altezza. L'organizzazione più usitata di questa notissima macchinetta è quella che vedesi rappresentata nella fig. 389. Per mezzo d'un martinetto di cotal forma un tagliapietre è capace di maneggiare con somma facilità un masso del peso di due in tre mille chilogrammi.

§. 846. Seguendo l'ordine adottato dalla meccanica nell'esposizione teoretica delle macchine semplici, passeremo ora a considerare praticamente le proprietà e gli usi della troclea e delle taglie. La prima offre per se sola un meccanismo meramente atto a cangiare la direzione dell'azione d'una potenza; ma è ben noto come per l'opportuna combinazione di vari organi di tal fatta, alcuni dei quali sieno fissi ed altri mobili, si possano comporre de' sistemi, ne' quali una potenza valga a far equilibrio con un peso notabilmente maggiore di essa, e per conseguenza come per mezzo di tali combinazioni si possa una piccola forza render capace di vincere una gagliardissima resistenza. Questo medesimo intento si ottiene assai più semplicemente con l'impiego delle taglie, le quali riunendo più troclee in una medesima cassa, non occupano tanto spazio quanto ne richiederebbe la disposizione dello stesso numero di troclee isolate, e non esigono che un solo punto fisso, mentre volendosi adoperare delle troclee separate, tanti punti fissi abbisognerebbero quanto fossero esse di numero, per disporle come si richiede ad ottenerne un sistema confacente all'effetto già motivato. Quindi è che per l'appunto negli apparati meccanici pel maneggio di pesanti masse l'arte fa sovente uso di taglie, ove si tratta di muovere pesi enormi con l'impiego di una discreta forza; nè meno frequentemente adopera le semplici troclee, ma queste soltanto pel semplice, ma spesso interessantissimo scopo, di volgere opportunamente la direzione della forza motrice.

§. 847. Una troclea semplice, la quale in pratica è pure denominata *carrucola*, *puleggia*, *girella*, e più particolarmente dai marinai *bozzello*, è composta di diverse parti, dalle giuste proporzioni delle quali

dipendono la buona costituzione del meccanismo, ed il suo buon effetto. Sono esse 1.° una *ruotella* massiccia, col contorno incavato, ove deve adattarsi la fune: 2.° due dischi denominati *ganasse*, che tengono in mezzo la ruotella: 3.° una *maniglia o gancio* a due *staffe*, alle quali sono impernate le ganasse: 4.° un asticciuola cilindrica, chiamata *cavicchia*, che è sostenuta dalle due ganasse, ed intorno a cui può girare la ruotella, che vi sta infilzata: 5.° finalmente la fune, che deve considerarsi come un organo essenziale della macchina, poichè senza di essa la troclea non può adempiere l'ufficio cui è destinata. Un capo della fune è tratto dalla forza motrice, e l'altro capo di essa si attiene o immediatamente, o per l'interposizione d'altri organi, alla resistenza, sulla quale trasferisce l'azione della stessa forza motrice.

§. 848. Le ruotelle delle piccole troclee per gli usi più comuni si fanno ordinariamente di legno d'olmo; ma queste facilmente si spaccano, e sono di breve durata. Per aver delle troclee durevoli, e adattate alle più gelose occorrenze, convien formarne le ruotelle di qualche legno de' più duri, come sono il sorbo, ed il guaiacano volgarmente noto sotto il nome di legno santo. Perchè le ruotelle fatte di buoni legni acquistino maggior durezza, giova di tenerle infuse nell'olio bollente, finchè se ne sieno imbevute a sazietà. Giova pure d'inserire nel bel mezzo della ruotella un dado metallico, vale a dire d'ottone, o di bronzo, o d'acciaio, in cui sia aperto il foro, ove deve penetrare la cavicchia; perchè così men rapido è il logorarsi della ruotella, dove prova un continuo attrito mentre gira intorno alla cavicchia, e quindi più tardi accade che il foro si dilati a segno di rendere irregolare il giuoco della girella; il che è non di rado motivo che le troclee diventano inservibili, sebbene in tutto il rimanente si conservino tuttora in buono stato. Le ruotelle delle grandi troclee sono fatte talora di bronzo, ed in tal caso, affinchè non riescano di soverchio pesanti, sogliono formarsi incavate dall'una e dall'altra banda, in corrispondenza d'una zona circolare terminata a poca distanza dal foro della ruotella, e parimenti a breve distanza della circonferenza di essa: talmente che soltanto presso il mezzo e presso la circonferenza la ruotella abbia il pieno della sua grossezza. Cotale incavo produce anche il vantaggio di sminuire l'attrito delle facce della ruotella sulle circostanti ganasse. Queste sono ordinariamente di ferro; e di ferro sono pure per solito le maniglie, e le staffe delle troclee usitate nell'operazioni architettoniche. La cavicchia per lo più si fa anch'essa di ferro.

§. 849. L'esperienza ha fatto conoscere quali proporzioni debbano regnare fra le dimensioni delle varie parti d'una troclea, acciocchè questa si trovi costituita nel modo più confacente all'intrinseca sua

solidità, ed insieme alla facilità ed alla regolarità del suo movimento. Si sono quindi dedotte le seguenti norme pratiche, opportune a sapersi per profittarne ove occorre di scegliere, o di far costruire di sì fatti organi, da adoperarsi nella manovre architettoniche.

Il diametro della ruotella sia a quello della cavicchia come 12 : 1. La grossezza della ruotella sia uguale ad un sesto del suo diametro, e conseguentemente il doppio di quello della cavicchia. La distanza fra le due ganasse e quindi la lunghezza viva della cavicchia, sia uguale a $\frac{7}{6}$ della grossezza della ruotella, vale a dire a $\frac{7}{3}$ del diametro della cavicchia. Così la ruotella ha un giuoco libero fra le ganasse, non impedito dagli attriti. Il contorno della ruotella sia incavato ad arco di circolo, con una saetta, o sia ad una profondità uguale ad $\frac{1}{10}$ della corda, vale a dire della grossezza della ruotella. Qualora fosse necessario di aumentare la presa della fune addosso alla ruotella, onde impedire che la prima scorresse sulla seconda, piuttosto che farla girare, converrebbe formare l'incavo o vogliam dire la gola di sezione trapezia, e talvolta potrebbe anche convenire di tagliare dentro la gola dell'intacche, o denti a piano inclinato, volti opportunamente perchè si opponessero al temuto scorrimento.

§. 850. Asserisce il Rondelet (1) in proposito delle troclee, avergli mostrato l'esperienza, che quando il diametro della ruotella sia di cinque pollici di Parigi, cioè di m. 0,135, qual è per l'appunto nelle più piccole fra le troclee, di cui occorre far uso nelle manovre architettoniche, osservate in tutte le parti del meccanismo le proporzioni testè prescritte, e quindi avendo la cavicchia m. 0,011 circa di diametro, può questa sicuramente resistere ad uno sforzo equivalente al peso di 1000 libbre parigine, che corrispondono prossimamente a 489 chilogrammi. Con questo dato si potrà facilmente determinare quale dovrà essere il diametro della cavicchia in una troclea destinata a sostenere uno sforzo equivalente ad un dato peso; e quindi si potranno assegnare le convenienti dimensioni di tutte le varie parti del meccanismo corrispondentemente alle regole preindicate.

Supponghiamo due troclee di diversa grandezza, per altro entrambe modellate secondo le prefate proporzioni normali e sia $m$ il diametro, $n$ la lunghezza della cavicchia dalla prima di esse, $x$ il diametro, ed $y$ la lunghezza della cavicchia della seconda. Le resistenze rispettive delle due cavicchie, giusta le leggi meccaniche richiamate nel libro secondo (§. 159

(1) Nel luogo precitato

n.° 6), saranno l'una all'altra nella ragione di $\frac{m^3}{n}$ ad $\frac{x^3}{y}$; onde se chiamiamo $R$, $r$ le due resistenze, si avrà la proporzione $\frac{m^3}{n} : \frac{x^3}{y} :: R : r$. Ora, stante la supposta conformazione delle due troclee, dev'essere $n = \frac{7m}{3}$, ed $y = \frac{7x}{3}$; e se intendiamo che una delle due troclee, per esempio la prima, sia quella che per esperienza comparve al Rondelet capace di reggere un peso di chilog. 489, e che quindi la sua cavicchia abbia un diametro di m. 0,011, avremo la proporzione $(0{,}011)^2 : x^2 :: 489 : r$, che si converte nell'equazione $x^2 = \frac{(0{,}011)^2 r}{489}$, d'onde si ricava $x = 0{,}005 \sqrt{(r)}$. Laonde essendo noto il peso $r$, cui la troclea dovrà reggere, si renderà pur noto il diametro della cavicchia, e la grandezza della troclea di cui si dovrà far uso. E viceversa dalla stessa proporzione si ricava $r = \frac{489 x^2}{(0{,}011)^2} = 4041322 x^2$; onde quando si conosca il diametro della cavicchia si potrà così immediatamente scuoprire il valore del massimo peso che dalla troclea potrà essere sopportato.

§. 851. La taglia non è che una troclea composta di più ruotelle raccolte in una medesima cassa. La combinazione di due taglie costituisce quell'ingegno, cui si dà comunemente il nome di *paranco*, ovvero *paranchino*. Delle due taglie componenti il paranco una è stabilmente attaccata a qualche punto, verso cui il peso debba accostarsi, l'altra è collegata al peso. Una medesima fune circonda ordinatamente tutte le ruotelle d'entrambe le taglie, e si attiene con uno de' suoi capi alla taglia fissa se il numero delle ruotelle è lo stesso in entrambe le taglie, ovvero alla taglia mobile se questa ha una ruotella di meno della fissa. Sull'altro capo della fune, che dicesi la *vetta* del paranco, agisce traendo la forza motrice. Sappiamo dalla meccanica come per la mediazione d'un paranco la forza motrice si rende valida ad equilibrare ed a muovere un peso di gran lunga maggiore di quello, cui è equivalente la sua azione. Ed in questo apparato meccanico si ha inoltre il vantaggio che la resistenza agisce ripartitamente sopra varie funi, e non su di una fune soltanto, come succede quando a muovere un peso si destinano la burbera, ovvero l'argano, senza l'aggiunta di verun' altra macchina; per lo che facendo uso del paranco si evita la necessità d'impiegar funi di molta grossezza, le quali sono

incommode a maneggiarsi, e per la maggior loro rigidezza accrescono la somma delle forze passive più delle funi di grossezza discreta.

§. 852. Le ruotelle d'una taglia possono essere tutte stabilite su d'un medesimo asse, come si osserva nella taglia rappresentata dalla fig. 390 ovvero disposte intorno ad assi diversi, qualmente apparisce nella fig. 391. In questa seconda disposizione gli assi intendonsi tutti paralleli fra loro ed esistenti in un medesimo piano; nel qual caso è d'uopo che le ruotelle abbiano i diametri gradatamente decrescenti: diversamente i vari tratti della fune si darebbero vicendevolmente imbarazzo, e fregandosi fra loro genererebbero un qualche attrito in aumento dell'altre resistenze della macchina. Il decrescimento graduato delle ruotelle in questa sorta di taglie suol regolarsi in modo che ciascuna ruotella abbia un diametro uguale a due terzi della girella più grande, che le è contigua. Ma se le ruotelle fossero molte, a meno che non si assegnasse alla prima o sia alla più grande di tutte un diametro notabile, nella quale ipotesi si aumenterebbe di soverchio il volume della macchina, e dovendosi stare attaccati a quelle giuste proporzioni che l'esperienza ha mostrate necessarie nella struttura delle troclee (§. 849), si accrescerebbe anche di molto la resistenza degli attriti, l'ultime ruotelle diventerebbero eccessivamente piccole, e quindi farebbero aumentare quella resistenza che deriva dalla rigidezza delle funi; e potrebbe anche darsi il caso che si riducessero a tal piccolezza che fosse d'uopo d'assegnare alle loro cavicchie un diametro maggiore di quello prescritto fra le proporzioni normali delle troclee, onde offerisse la necessaria robustezza, ed allora si avrebbe uno scapito nella maggiore resistenza degli attriti. Per la qual cosa le quante volte occorra di adoperar delle taglie a molte ruotelle, giova di adottare piuttosto quella disposizione, che si rappresenta nella fig. 392, ove le ruotelle sono ripartite intorno a due assi giacenti in due diversi piani paralleli, e rispettivamente nell'intersezioni di questi con due piani ad essi normali, e normali pure l'uno all'altro.

§. 853. Le casse delle taglie possono essere costrutte di ferro, ovvero di legno. Le casse di ferro sono meno voluminose, ma logorano assai più le funi delle casse di legno. Queste offrono anche una maggior sicurezza nell'operazioni, perchè non sono come quelle di ferro soggette a fiaccarsi talora inopinatamente, ma danno preventivi segni della loro debolezza, onde si ha tempo di prendere i provvedimenti necessari ad evitarne le perniciose conseguenze. Quando in una cassa di legno sono disposte più ruotelle intorno ad un medesimo asse, le ganasse intermedie sogliono farsi di grossezza uguale a due terzi di quella delle ruotelle, a cui sono interposte. Le ganasse esteriori esigono una grossezza maggiore. In ogni modo per altro le casse di legno debbono armarsi

con buone staffe e maniglie di ferro, ed è pure ben fatto di fortificarle con altre leghe dello stesso metallo, quando si tratta di grandi taglie, destinate per operazioni di maggiore importanza.

§. 854. Nella fig. 392 si dimostra una delle taglie, che furono adoperate a Parigi nell'erezione della statua equestre di bronzo del re Luigi XV (1). Una particolarità havvi in questa taglia, che merita d'essere osservata: e sono gli uncini, che veggonsi disposti esternamente al di qua e al di là della cassa. Furono questi sagacemente immaginati, onde aver modo di arrestare il peso giunto a qualsivoglia altezza, e di poter impunemente cangiare la fune del paranco, qualora si manifestasse in essa qualche difetto o alterazione, per cui potesse temersi che venisse presto a rompersi. In tal caso non era d'uopo se non che di collegare le due taglie del paranco per mezzo d'una o di più funi ravvolte ed allacciate saldamente ai detti uncini. Fu questo un giudizioso artifizio, che ci addita un' utilissima precauzione da imitarsi, per diminuire i pericoli in somiglianti malagevoli operazioni.

855. Nell'operazioni, ch' hanno per iscopo il movimento di pesanti masse, si trae in certi casi vantaggioso partito dall'uso del piano inclinato, e del cuneo. Sono questi meccanismi semplicissimi di forma, e le loro dimensioni, considerate assolutamente e relativamente, non vanno soggette a regole generali, ma vogliono essere attentamente accomodate alle circostanze particolari de' casi, ed alle condizioni dell' effetto che si vuol ottenere. La solidità dei medesimi è un punto che dipende dalla materia di cui sono formati, e, trattandosi di piani inclinati di qualche estensione, dalla robustezza e dalla buona disposizione dei membri, che ne compongono l'armatura. In qualche occorrenza può cadere anche in acconcio l'impiego delle viti, ove non si tratti che d' indurre piccole mosse in qualche massa, anche di peso enorme. Il più volte ricordato scoglio di Pietroburgo (§. 830) fu dal Carburi agevolmente sollevato con l'artifizio di dodici viti, allorchè fu d'uopo di discostarlo da terra, a fine di costruirvi sotto il gran traino, sul quale doveva giacere nell'atto d'essere tirato per una distanza d'una lega e mezzo sino alla Neva: d'onde fu poi imbarcato, e trasportato pel fiume sino a Pietroburgo.

856. Il movimento de' pesi nell' occorrenze delle costruzioni può essere agevolato con l'impiego di que' vari mezzi meccanici, che abbiamo fin qui distintamente considerati ad uno ad uno. Le variatissime circostanze dei

(1) Borgnis · *Mouvement des fardeaux* · Lib. I cap. VII.

casi richieggono a preferenza or l'uno or l'altro di tali mezzi; ed è appunto sull'esame accurato di tali circostanze che, come altra volta avvertimmo (§. 830), dev'essere fondata in ogni caso la scelta, la disposizione, e la combinazione delle macchine, onde possa conseguirsi l'effetto nel modo più semplice, più pronto, più sicuro, e più regolare. E massimamente quando son da muoversi enormi masse di colonne, d'obelischi, o di scogli grezzi, destinati a qualsivoglia uso, l'acume e la dottrina dell'architetto debbono studiosamente applicarsi a prefiggere tutti gli apparati meccanici da mettersi in opera, e l'ordine con cui dovranno essere disposti e messi in azione, a tenore dei differenti movimenti, che si esigeranno nella massa, e per toglierla dal sito in cui giace, e per farla giugnere a quello in cui dovrà essere collocata, e per erigerla in quella positura che le conviene; ed a determinare avvedutamente le resistenze tutte che tornano in isvantaggio della potenza, e che vanno in aggiunta di quella che il peso della massa oppone alla forza, che tende ad imprimerle il movimento: a fine di poter calcolare coi sani criteri della meccanica la quantità della forza motrice che dovrà essere posta in azione. Ma quantunque la scelta e la disposizione opportuna delle macchine per le motivate operazioni non possa farsi dipendere da generali precetti, come pure avvertì il Venturoli (1): e non sia presumibile di tutte prevedere le innumerabili diversità dei casi, ed i moltiplici temperamenti, che potrebbero ad esse con maggiore o minor convenienza applicarsi; tuttavolta ordinariamente l'arte è solita di non allontanarsi da alcuni apparati o combinazioni di macchine, che per la loro semplicità si adattano esquisitamente alla pluralità delle occorrenze; onde a parlare di questi siamo ora portati dal nostro primo istituto, essendo riserbato alla storia dell'arte di far conoscere gli straordinari e complicati processi meccanici, per mezzo dei quali sono state condotte a fine le più segnalate imprese, aventi per iscopo il trasporto e l'innalzamento di masse oltre misura grandi e pesanti.

## CAPO IV.

### *Ordinari apparati meccanici pel movimento de' grandi pesi.*

§. 837. Tutte le macchine composte, che vengono ordinariamente usitate pel movimento de'grandi pesi, essenzialmente si riducono a due soli sistemi;

(1) Vol. I lib. V cap. XVIII.

il primo de' quali risulta dalla combinazione dell'argano e del paranco, il secondo consiste nella combinazione della burbera o d'un verrocchio, e del paranco. È facile di concepire come tali combinazioni debbano essere apparecchiate, e messe in atto, allorchè si tratta di far camminar qualche massa su d'un piano orizzontale, ovvero inclinato. Si comprende altresì agevolmente quale disposizione richieggasi nelle medesime combinazioni, allorchè debbono essere impiegate per tirar in alto dei pesi. Se non che in questo secondo caso il bisogno di supplire alla mancanza d'un punto fisso, che si richiede ad una conveniente altezza, per potervi assicurare la taglia immobile del paranco (§. 851): o la necessità di tener saldi nella loro posizione l'argano, o la burbera, onde impedire che l'azione della potenza anzi che far salire il peso abbia ad indurre un movimento ascensionario nella macchina stessa cui è applicato: ovvero finalmente lo scopo di costituire un sistema portatile, che possa trasferirsi per eseguire l'operazioni di cui si tratta ovunque ne accade il bisogno, hanno dato motivo all'invenzioni d'alcuni sistemi, ai quali in pratica si dà il nome di *castelli*, in alcuni de' quali si è introdotta anche la facoltà di permettere e di agevolare anche un breve movimento orizzontale del peso, quando questo è arrivato ad una certa altezza. I vari artifici di cotesti castelli, de' quali è più generale e più commendato l'uso, saranno qui da noi sommariamente descritti e considerati; e prima quelli che consistono nella combinazione dell'argano col paranco, poscia alcuni altri ne' quali il paranco è combinato con una burbera, ovvero con un verrocchio.

§. 858. Tra i castelli ad argano il più semplice di tutti è quello, cui vien dato il nome *d'antenna*. Consiste effettivamente questo in una antenna, o in una lunga trave piantata in terra a poca profondità, cioè quanto basta perchè il suo piede non possa scorrere orizzontalmente da verun lato, ed eretta in modo che declini alcun poco dalla verticale, pendendo inverso quella parte da cui il peso dev'essere innalzato. L'antenna è tenuta ferma in tale positura da quattro funi chiamate *venti*, e volgarmente anche *ventole*, le quali ne stringono la sommità, e sono quindi tirate obliquamente ed allacciate a quattro passoni, o uomini morti piantati a qualche distanza intorno al piede dell'antenna. A questo è infissa saldamente una troclea, che dicesi *di richiamo*, intorno alla quale si avvolge la vetta d'un paranco appeso alla cima dell'antenna, e quindi la vetta istessa va ad attorniare il fuso d'un argano opportunamente situato, ordinariamente da quella parte verso la quale è inclinata l'antenna. Quindi è chiaro che applicando all'argano una giusta forza motrice, l'azione di questa produrrà necessariamente il cercato movimento ascensionario del peso, che si suppone attaccato alla taglia mobile del

paranco. Tutta la disposizione, che ora abbiamo descritta, vedesi rappresentata in disegno nella fig. 394.

§. 859. Le statue, che fanno corona al peristilio della piazza di s. Pietro in Vaticano, giaciono ad un altezza di ben 17 metri da terra, ed hanno di statura poco meno di m. 3. Esse vennero tutte alzate ed allogate col mezzo d'un'antenna portatile, che vedesi rappresentata nella fig. 395, (1). L'antenna di cui parliamo consiste in una lunga e grossa colonna formata di uno, ovvero, se non basta, di due travi congiunti testa a testa con istecche e cerchiature di ferro (§. 242. n.° 8), verticalmente eretta e fissata ad incastro sopra uno zoccolo rettangolare di ben grosso tavolone: sulla sommità della quale è posato orizzontalmente un pezzo di trave, denominato *falcone*, assicuratovi con istaffe di ferro, e sostenuto da un robusto saettone nella parte anteriore, a cui va appeso il paranco. Presso il piede dell'antenna è legata una troclea di richiamo, come e per lo stesso ufficio, che si avvertì poco fa parlando dell'antenna semplice: e quindi in situazione opportuna è collocato l'argano, che insieme col già detto paranco, e con l'accennata troclea di richiamo, compie il corredo de'meccanismi destinati all'alzamento del peso. Finchè questo castello è tenuto in azione è reso immobile dal ritegno di quattro venti, disposti ed assicurati come nell'altra antenna, che descrivemmo da prima; stando lo zoccolo sopra pezzi di travi, che i pratici chiamano *mozzature*, in guisa che la positura dell'antenna riesca perfettamente verticale. Quando poi occorre di trasportare il castello da un luogo ad un altro, si tolgono di sotto lo zoccolo le dette mozzature, e si sostituiscono ad esse de' curri cerchiati di ferro, e traforati, posti normalmente alla direzione del cammino che deve tenersi dal castello. Si slegano dagli uomini morti i quattro venti, e si vengono quindi regolando a mano, intanto che allentandosi bel bello un verrocchio, che ritiene una quinta fune dalla parte opposta a quella, verso cui il castello deve procedere, e facendosi forza con un paletto di ferro sui curri posti sotto lo zoccolo, si spinge a poco a poco l'antenna al nuovo sito, in cui occorre d'adoperarla. Ivi giunta si ripongono di bel nuovo le mozzature in cambio de' curri sotto lo zoccolo, e si ferma il castello, legando i quattro venti ad altrettanti uomini morti opportunamente disposti all'intorno.

Posteriormente al piede dell'antenna vedesi infisso un arganello, intorno a cui viene a ravvolgersi la vetta d'un paranco formato, da due

(1) *Castelli e ponti di maestro Niccola Zabaglia* - Tav. VII.

taglie, una delle quali fissata ad un uomo morto piantato nella direzione del falcone, dalla banda opposta a quella ove dev'essere alzato il peso. Codesto meccanismo fu aggiunto giudiziosamente al castello per poter calare le statue ai loro posti, allorchè erano state tirate sino alla sommità dall'antenna. Allentati i quattro venti non occorreva per ciò che di ammollar dolcemente la vetta del paranco posteriore virando all'arganello, finchè l'antenna si fosse inclinata a modo che la statua si trovasse a perpendicolo sopra la propria base. Ed allora poi si doveva allentare pian piano il paranco maestro, finchè essa giungesse a posarsi sulla base stessa, ove non veniva abbandonata se non quando vi si era sistemata perfettamente dritta e sicura.

§. 860. Due specie di castelli ad argano sono conosciuti sotto la denominazione di *capre*. L'una di esse, che dicesi *capra aperta*, consiste, come vedesi nella fig. 396, in una stabile armatura di legname a forma di cavalletto. L'altra, che chiamasi *capra serrata*, è composta di tre travi, disposti ed uniti come si osserva nella figura 397, in guisa che costituiscono un castello piramidale. L'argano ed il paranco sono tanto nell'una quanto nell'altra combinate, come nell'antenna che abbiamo or ora descritta. La capra aperta comporta la combinazione di vari argani con ugual numero di paranchi, quando a bella posta sia costrutta ampia a sufficienza. In alcuni casi adoperansi anche diverse capre messe concordemente in azione per alzare pesi straordinari, o lunghissime travi, ovvero complicati sistemi di legname, quali sono l'armadure dei ponti a castello (§. 316), e le centinature per la costruzione delle grandi arcate ne' ponti d'opera murale (§. 414 e seg.). Può vedersi nell'opere parecchie volte citate del Perronet, del Regémortes, come i due valentissimi costruttori si prevalsero dell'azione simultanea di più capre per l'alzamento dell'armature, e delle grosse pietre da taglio, nell'erezione dei ponti di Nantes e di Moulins; ma è da avvertirsi che le capre adoperate in Francia, per queste e per altre simili occasioni, non sono rigorosamente della classe di cui ora parliamo, essendo in esse combinato col paranco non l'argano ma bensì un verrocchio. Possono ugualmente impiegarsi per alzare le lunghe travi, e le composte armadure, delle combinazioni di due o di più antenne.

§. 861. Le capre ordinarie, di cui abbiamo ora parlato, son buone per eseguire l'alzamento de'pesi discreti, a mediocri altezze. Ma quando si tratta di tirare a grand'altezza delle masse di mole e di peso straordinario, fa mestieri di più grandiosi castelli, che sieno adattati a contenere un copioso treno di paranchi e d'argani, ed abbiano struttura e dimensioni confacenti allo scopo particolare cui son destinati. Nelle fig. 398,

399, 400, si offrono la pianta, e i due disegni ortografici del castello gigantesco, che fu costrutto da Domenico Fontana per erigere sul piedestallo apparecchiatole nella piazza di s. Pietro in Vaticano il grand' obelisco, di cui altre volte facemmo menzione (§. 830, 841) e che ha di altezza sullo stesso piedestallo poco manco di m. 25. Consisteva il castello in otto colonne dell' altezza di m. 28, disposte quattro per parte, con buona mano di puntelli che le spalleggiavano a varie altezze tanto nei lati quanto alla due estremità di ciascuna delle due file, e con moltiplici traverse orizzontali ed obblique, che tenevano collegato il sistema. Ciascuna colonna era formata per una riunione di grossi travi a quattro con ganasse di legno e con istaffe di ferro (§. 243 n.° 2), talmente che la sua grossezza risultava da circa un metro. In ugual modo erano formati i principali puntelli, e gli altri consistevano in semplici travi di grossa riquadratura. La sommità del castello era composta di robustissime incavallature, alle quali erano attaccati quaranta paranchi, che con ugual numero d' argani furono posti in azione per dirizzare l' obelisco. Tutto il castello si ergeva sopra un solidissimo ponte di legname, che cingeva il piedestallo, ed aveva il suo piano a livello del dado, o plinto sul quale l' obelisco venne posato (1). Non dissimili da questo furono gli altri grandi castelli che in diverse epoche si costruirono per rialzare gli altri obelischi di Roma, per riordinare una delle colonne del maestoso portico d' Agrippa, e per sistemare nello stato presente la gran colonna trionfale consacrata alla memoria dell' imperatore Antonino.

§. 862. Un altro castello ove si combinano l' argano ed il paranco per l' alzamento dei pesi, è quello che dicesi *biga*. Esso è composto di due semplici travi piantate in terra obliquamente le quali, s' incrociano con le loro sommità legate saldamente insieme, come si osserva nella fig. 359. Abbiamo un castello di tal fatta in Roma al porto di Ripa grande, il quale serve per isbarcare i grandi massi di pietra da taglio. Generalmente si fa grand' uso di così fatto apparato nei porti di mare, e se ne costruiscono di ragguardevole altezza, talvolta di 30, ed insino di più di 40 metri s' impiegano per inalberare i bastimenti, e per altre difficili operazioni dell' architettura navale.

§. 863. Veniamo ora a quei castelli, dei quali il corredo meccanico consiste nella combinazione dalla burbera o d' un verrocchio, con delle taglie, o con dalle semplici troclee. Cotali apparati poco sono conosciuti in Italia, ma sono usitatissimi altrove e massimamente in Francia.

(1) *Castelli e ponti di maestro Niccola Zabaglia*. Tav. 46, e 47.

I più semplici castelli di questo genere sono *l'ingegno*, la *gruetta*, e le capre a verrocchio. L'ingegno, di cui vedesi una rappresentazione nella fig. 401, consiste in una colonna o albero $CC$ verticale fissato sopra un piede $PPP$ a forma di T, spalleggiato da tre puntelli uno posteriore $QQ$, e due laterali $OO$, $VV$, e coronato in sommità da un falcone orizzontale $FF$. Questo porta due girelle presso i suoi estremi sulli quali passa la fune, che discende con un capo ad aggrappare il peso $L$, e con l'altro ad avvolgersi intorno al verrocchio $V$, fissato a conveniente altezza posteriormente alla colonna.

La gruetta, di cui vedesi un disegno nella fig. 402, differisce dall'ingegno testè descritto soltanto perchè il falcone $FF$, anzichè essere orizzontale, è disposto obbliquamente, ed è quindi assicurato con membri ausiliari confacienti a tale sua posizione.

Nella fig. 403 si rappresenta una capra a verrocchio della forma più comune. Le capre usitate ai tempi di Vitruvio, secondo la descrizione ch'esso ne fa (1), erano disposte, come si dimostra nella fig. 404, a un di presso come quella che abbiamo or ora additata; se non che il castello era tenuto fermo da funi facienti l'ufficio di venti (§. 858), e, ciò che costituisce una differenza essenziale, avevano per corredo per lo più oltre il paranco e la burbera anche un argano, e quindi esigevano l'impiego di due funi di comunicazione, una delle quali guerniva il paranco e si raccoglieva a mano a mano intorno al fuso della burbera, l'altra era ravvolta al timpano della burbera stessa, e si svolgeva di mano in mano, andandosi a raccogliere intorno al fuso dell'argano.

La fig. 304 dimostra una capra doppia, o sia un sistema di due capre stabilmente congiunte, e messe simultaneamente in azione per innalzare un peso. Tale disposizione fu immaginata e messa in opera dal Regemortes per tirar in alto le pietre nella costruzione del ponte di Moulins (2).

Finalmente nella fig. 406 si vede il disegno d'una capra, a cui invece d'una burbera ordinaria è adattata una burbera a fuso bipartito (§. 837), ai di cui disuguali tronchi si ravvolgono in senso opposto i due capi della fune, che sostenendo il peso mediante una troclea mobile, e passando parimenti in senso contrario sulle due ruotelle d'una taglia affissa al vertice del castello, discendono quindi e si dispongono

(1) Lib. X cap. II.
(2) *Description du pont de Moulins* pag. 30.

sui due tronchi ineguali del fuso, come si richiede pel giuoco della macchina. Cotesto apparato meccanico acquista quelle stesse prerogative, che già vedemmo esser proprie della burbera bipartita, alle quali vuolsene aggiungere un'altra; ed è che essendo arbitrario il rapporto fra i due raggi disuguali del tronco del fuso, può sempre questo assegnarsi a modo che per ciascheduna rivoluzione della burbera la salita del peso sia minore di qualsivoglia data misura. Per la quale proprietà le burbere bipartite, ed i castelli che ne vanno forniti, si rendono opportunissimi in quei casi, nei quali può occorrere di far salire e discendere lentissimamente un peso, e di essere sicuri che non venga spinto al di là d'un punto dato. Il trovato di quest'ingegnosa applicazione della burbera bipartita alla capra si attribuisce al prefato Regemortes (1).

§. 864. Altri più grandiosi castelli si usano oltremonti per tirar in alto i pesi, e sono le così dette grue, le quali non debbono confondersi con la grue menzionata da Vitruvio (2), e da altri antichi scrittori, poichè sotto codesta denominazione intendevano essi una macchina bellica, che altrimenti era anche chiamata *corvo* ovvero *cicogna*. La proprietà caratteristica delle moderne grue elevatorie consiste nella facoltà ch'esse hanno di servire a far percorrere al peso un breve spazio orizzontale quand'egli è pervenuto ad una certa altezza. Le grue destinate per l'occorrenza dell'arte di fabbricare sono generalmente portabili, o vogliam dire *ambulanti;* ma quelle che ne' porti, e segnatamente dell'Inghilterra e della Francia, si usano per l'imbarco o per lo sbarco delle grosse merci, sono stabilmente fissate sulle rive nei punti opportuni all'uopo motivato, e queste possono distinguersi col nome di grue *dormienti*. Parleremo della grue ambulante, perchè costituisce un sistema meccanico adottato nell'arte di fabbricare, quantunque non universalmente, nè con un reale vantaggio comparativamente ad altri apparati, per mezzo dei quali può conseguirsi il medesimo effetto; e non tralasceremo di dare qualche notizia anche delle grue dormienti, atteso che la costruzione di esse forma un oggetto dell'arte dell'ingegnere, quantunque il loro fine sia totalmente estraneo alle manovre architettoniche.

§. 865. Nella fig. 407 vedesi delineata una grue ambulante. Contemplando attentamente questo disegno vedremo ad una ad una quali sono le diverse parti sostanziali del castello, quale la loro disposizione e l'ordinamento degli organi, che costituiscono il corredo meccanico del

(1) Hachette. *Traité élémentaires des machines*. Cap. III artic. 24.
(2) Lib. X cap. XIX.

castello medesimo, e mentre così ci formeremo un'idea generale dell'organizzazione della grue architettonica, senza interessarci delle minute particolarità di struttura e di meccanismo, le quali sono state variate in molti modi a piacimento de' costruttori, ci faremo quindi strada a comprendere come sì fatto apparato si renda idoneo al conseguimento del duplice effetto cui è destinato.

Un *albero* o *fusto* $a\,a$ è piantato verticalmente su d'uno zoccolo, consistente in un'armatura cruciforme $b\,b\,b\,b$, e spalleggiato da quattro coppie di puntelli $d, d, d, d$. La sommità del fuso è guernita d'un robusto perno verticale, e fortificata con una o più cerchiature di ferro. Al detto perno è infilata un'*antenna* obliqua $f\,f\,f$, rinforzata, e resa invariabile nella sua inclinazione, da un complesso di membri opportunamente disposti, i quali non impediscano ad essa di girare orizzontalmente intorno alla sommità del fusto. Due girelle $r, r$ sono infisse l'una alla sommità, l'altra all'estremità inferiore dell'antenna. Alla parte superiore mobile del castello va congiunta una burbera $m$, il di cui fuso ha il suo asse nel piano stesso verticale, in cui esistono gli assi dell'albero $a\,a$, e dell'antenna $f\,f\,f$, e corrisponde verticalmente sotto la girella $r$ infissa all'estremità inferiore dell'antenna. La fune $o\,o\,o\,o\,o$ passando sulle due girelle $r, r$, ed appoggiandosi anche talvolta ad alcune altre girelle intermedie $e, e$, disposte sul dorso dell'antenna, discende con uno de' suoi capi ad avvoltarsi al fuso della burbera, e con l'altro capo ad aggrappare il peso, che si vuole tirare in alto.

§. 866. Dalla premessa descrizione facilmente si comprende, che messa in azione la burbera, applicandosi ad essa una giusta forza motrice, il peso afferrato dall'altro capo della fune potrà essere alzato fin presso la sommità dell'antenna; e a qualunque punto della sua ascensione potrà esso in oltre essere spinto da una parte o dall'altra, con un movimento rotatorio orizzontale intorno all'albero del castello, purchè sì fatto movimento rotatorio venga impresso alla parte movibile della grue, applicando opportunamente all'uopo all'inferiore estremità di essa parte mobile una potenza orizzontale, che valga a superare la resistenza degli attriti. Le grue ambulanti ordinariamente adoperate dai costruttori francesi hanno la sommità dell'antenna alta m. 15 circa da terra, e servono ad alzar dei pesi di 1000 in 1500 chilogrammi. Il Rondelet racconta (1) esserne stata costrutta una a Parigi nel 1763 alta poco meno di m. 24, divisandosi che dovesse servire ad alzare le pietre per la costruzione dei

(1) *Art. de bâtir.* Lib. VI sez. II artic. VIII.

quattro piloni della cupola di s. Genueffa; e che quantunque fosse architettata con somma accuratezza, tuttavia in atto pratico mal corrispose allo scopo, e se ne dovè ben tosto abbandonar l'uso, atteso che per l'eccessivo sforzo laterale, a cui l'albero andava esposto, si potevano appena sollevare con questo castello quelle pietre, che non pesavano oltre 980 chilogrammi circa: ed anche per l'alzamento d'un peso così limitato era forza di alleggerire il detto sforzo laterale con aggiungere alla coda dell'antenna un contrappeso di 350 in 400 chilogrammi. Le grue ambulanti si trasportano da un luogo all'altro facendole scorrere sopra curri, come già si disse dell'antenna portatile (§. 859); formando se occorre un tavolato ben piano lungo il cammino ch'essa deve percorrere, qualora la superficie del suolo non sia per se stessa piana e regolare.

§. 867. Il medesimo Rondelet pel corso di 36 anni ebbe occasione di esaminare gli effetti di questa sorta di castelli elevatori, facendone uso per l'occorrenze de' grandi lavori del prefato tempio di s. Genneffa, dei quali era a lui affidata la direzione. Dai risultati delle lunghe sue osservazioni ha desso potuto dedurre (1) alcune essenziali condizioni in ordine alle proporzioni, che regnar debbono fra le dimensioni delle varie parti del sistema, affinchè questo riesca equilibrato nella sua costituzione, e possa tenersi saldo ed illeso nell'esercizio cui è destinato. Tali condizioni sono racchiuse nelle seguenti regole.

1.° La distanza della verticale condotta per la sommità dell'antenna dall'asse del fuso, la quale distanza costituisce il risalto dell'antenna, o sia il *raggio* del castello, non deve oltrepassare i due quinti dell'altezza totale della grue.

2.° Quella porzione superiore dell'albero, che resta abbracciata dalla parte superiore mobile del castello, deve essere non minore della metà del raggio della grue.

3.° La predetta porzione dell'albero deve avere la forma di un tronco di cono, di cui il diametro inferiore sia doppio del superiore, ed uguale ad una dodicesima parte del raggio della grue.

4.° Dal ruotone della burbera, applicato all'estremità esterna del proprio fuso, all'asse dell'albero, sia una distanza uguale a due terzi del raggio del castello.

5.° E parimenti sia uguale a due terzi dello stesso raggio la lunghezza di ciascheduno dei bracci, che costituiscono l'armatura cruciforme dello zoccolo, o piede della grue.

(1) Ibidem.

In corrispondenza di tali regole, essendo, come dicemmo (§. 685), di m. 15 l'altezza d'una di quelle grue, che ordinariamente si usano in Francia per l'occorrenze architettoniche, non si potrà assegnare ad essa un raggio maggiore di m. 6, e quindi supponendo che si faccia per l'appunto di 6 metri: la porzione conica dell'albero, che s'interna nella parte mobile del castello dovrà essere lunga non meno di m. 3, e dovrà avere alla estremità inferiore un diametro di m. 0,50, ed alla sua sommità un diametro di m. 0,25: e la distanza del ruotone della burbera dall'asse del fusto dovrà essere uguale a m. 2, quale dovrà pure essere la lunghezza de' bracci che compongono il piede del castello.

§. 868. Ma comunque una grue ordinaria sia studiosamente costituita a seconda dell'esposte regole, ciò non vale a renderla esente da due essenziali difetti. Il primo di questi si è che, dovendo il carico gravitare unicamente sulla estremità superiore dell'antenna, a cui rimane appeso, è d'uopo che la parte mobile del castello sia robusta a modo di potervi resistere, e quindi assai maschia e pesante; e ciò contribuisce ad accrescere la spinta che il peso pendente produce contro l'albero del castello, la quale è di tal momento, che talvolta un peso di 1468 chilogrammi è stato capace di fiaccare un fusto grosso poco meno di m. 0,50. L'altro difetto della grue consiste nell'invariabilità del suo raggio, per cui essa non è al caso di produrre un effetto regolare, se non che quando i massi da alzarsi si trovano a giacere attorno al castello, precisamente nella circonferenza del circolo descritto col raggio medesimo; poichè è evidente che quei pesi, che sono situati in terra o di dentro o di fuori della prefata circonferenza, quando vengono posti sotto l'azione della macchina esercitano da principio una reazione obliqua contro la sommità dell'antenna, finchè sono stati strascinati nella verticale che scende dalla medesima sommità; e questa prima reazione obliqua fa crescere la spinta contro la sommità del fusto, e l'esperienza ha mostrato essere appunto in simili casi che sogliono fiaccarsi gli alberi delle grue.

§. 869. La nuova grue architettata dal Rondelet, di cui esibiamo un disegno nella fig. 408, va esente dai due difetti qui dianzi accennati. Potranno gli studiosi leggere a loro bell'agio la minuta descrizione di questa grue, datane dal suo inventore (1); e noi ci limiteremo a notarne quelle sostanziali particolarità, per cui la grue medesima differisce dall'ordinaria, e si rende libera dai preindicati difetti. Primieramente la parte superiore mobile del castello in vece d'essere obliqua, come

(1) Nel luogo ultimamente citato.

della grue ordinaria, consiste in un' armatura verticale, composta di due primari membri ritti $aa$, $aa$, che abbracciano l' albero $bb$ fino all' altezza dei puntelli $c, c, c, c$, dai quali esso è fiancheggiato, e di quattro membri ausiliari obliqui, due superiori $d, d$, e due inferiori $e, e$, che danno al sistema una forma romboidea. Le sommità dei due ritti sono riunite e coperte da un cappello $f$. Da questo cappello fino alla cima dell' albero sono inseriti fra i due ritti tre dadi $g, g, g$, l' infimo de' quali contiene un' occhio di ferro, in cui s' introduce il perno sporgente sulla sommità dell' albero. L' antenna $hh$ è affidata nel suo piede ad un perno orizzontale di ferro sostenuto dai due ritti, ed è tenuta in positura obbliqua da un bracciuolo di legno $ii$ girevole intorno al punto $k$, il quale può scorrere innanzi e indietro appoggiandosi alla ruotella orizzontale $r$ situata fra i due ritti, ed essere arrestato ove fa d' uopo da un saliscendi $m$, che è inforcato dai denti di una riga a sega $nn$, infissa al dorso del bracciuolo. Una girella $o$ è fissata alla sommità dell' armatura verticale, un' altra $p$ è posta all' estremità dell' antenna, e finalmente una terza $q$ è situata all' angolo posteriore dell' armatura romboidea. Sulla diagonale di quest' armatura stessa è disposta una coppia di traverse orizzontali $rr$, a cui si attengono i pendenti verticali $s, t$, che sono i sostegni dell' asse della burbera $u$. La fune attaccata da un capo al fuso della burbera è condotta a passare intorno alle girelle $o, p, q$, e quindi pende da questa ultima, e va ad aggrappare il peso $X$, che per conseguenza deve alzarsi, posta che sia in azione la burbera del castello.

Egli è chiaro che con sì fatta disposizione si evita quella gagliarda spinta laterale, per cui, come abbiamo osservato, gli alberi della grue di forma ordinaria sono in grave rischio di rompersi; e potendo variarsi a piacimento dentro certi limiti l' inclinazione dell' antenna, si ha un facile espediente di accrescere e di diminuire il raggio del castello, per far sì che corrisponda perfettamente alla circonferenza, sulla quale giace per terra intorno alla grue il peso, che dev' essere alzato.

Nelle costruzioni del prefato tempio di s. Genueffa fu dal Rondelet sperimentato il buon effetto di questa nuova grue, per mezzo della quale si fecero ascendere felicemente ad un' altezza di m. 48 dei massi di pietra del volume da 1,233 a 1,370 metri cubi, e del peso di 2937 a 3426 chilogrammi; il che non si sarebbe mai potuto osare con le solite grue. L' altezza delle nuove grue impiegate nell' occasione testè ricordata era di m. 11,50, ed il raggio di esse era variabile da tre a sei metri circa.

§. 870. Le grue dormienti, che, come dicemmo (§. 864), sono frequentate ne' porti massime dell' Inghilterra e della Francia, per la comodità d'imbarcare e di sbarcare le più grosse e pesanti merci, possono avere una struttura analoga a quella delle grue ambulanti, differendo da queste soltanto per la stabile collocazione dell' albero. Di tal fatta è la grue che il Lamandé fece costruire in Francia al porto di Sables d'Olonne nel dipartimento della Vandea, e di cni si vede il disegno nella fig. 409. Quella che vien rappresentata nella fig. 410 è la grue esistente in Parigi sulla Senna al porto del Louvre, alla quale l'Albert, che ne fu l'architetto, applicò una burbera a tamburo, con quella disposizione da lui inventata, di cui abbiamo dato ragguaglio nel capo precedente (§. 836.). Questa grue ha di più la particolarità di essere a due antenne, delle quali una *aa* serve per l'alzamento de' carichi più ragguardevoli, l'altra *bb* per quelli più discreti; ed il meccanismo della burbera, e tutta l'annessa armatura sono in tal situazione, che producono un contrappeso di maggior momento quando si adopera l'antenna *aa*, che quando si adopera la *bb*, onde così in certo tal modo si proporziona questo momento a quello del peso tirato in alto, per minorare la spinta laterale che ne deriva contro l'albero. Inoltre l'antenna *bb* può anche servire a sospendervi un contrappeso accessorio nel caso che dalla parte dell'antenna *aa* si voglia alzare un peso straordinario.

Codesta sorta di grue dormienti hanno i medesimi difetti delle grue ambulanti, nè possono servire ad alzar pesi maggiori di chilogrammi 1500, quando sono ad una sola antenna come quella di Lamandé. Quella a due antenne del porto del Louvre è atta ad alzar dei pesi di 2500 in 3000 chilogrammi. Un castello, che per agire ha bisogno d'uno spazio circolare libero del diametro di 12 metri almeno, e che è di un attività limitata a così tenui effetti, ben si vede che non può essere confacente a quei casi, nei quali il luogo disegnato per l'esecuzione della manovra è angusto, nè a quelli, nei quali si trattasse di tirar in alto delle masse di peso molto ragguardevole.

§. 871. Havvi un' altra specie di grue dormienti, cui il Borgnis (1) contraddistingue da quelle delle specie precedentemente considerate, chiamandole grue a punto di sospensione mobile in linea retta. Se ne offre un modello nella fig. 411, che addimostra una grue, la quale fu stabilita non sono molti anni a Parigi in riva alla Senna fra il ponte degl' Invalidi

(1) *Mouvement des fardeaux* — Lib. III cap. III.

e la tromba a fuoco detta *du Gros-Caillou*. Questo castello è piantato su d'una riva murata, ed ha la parte superiore sporgente orizzontalmente verso il fiume quanto basta, perchè possa dominare a piombo la barca sottoposta, che dev'essere caricata o scaricata. Sulla sommità di esso è appoggiato un carriuolo a quattro ruote, che può alternativamente scorrere innanzi e indietro con direzione normale a quella della riva: ed a cui va connessa una burbera a due cilindri staccati (§. 837) per mezzo della quale si può far salire e discendere secondo l'occorrenza un peso, che pende dai due cilindri. Quindi facilmente si concepisce come un peso giacente nella riva sotto il castello possa prima essere innalzato con l'opportuno maneggio della burbera, tirato poscia orizzontalmente fino all'estremità del castello che sporge dalla riva, ed in fine calato sulla sottoposta barca; e come altresì con ordine inverso possa un peso esser levato dalla barca o portato a posarsi in terra sotto il castello. Vuolsi non pertanto avvertire che anche con sì fatta grue non si potrebbe senza pericolo eseguire l'imbarco o lo sbarco di pesi considerabili, atteso che la parte sporgente del castello è manifestamente troppo debole, e deve necessariamente sostenere, oltre il peso della massa da tirarsi su, o da calarsi nella barca, anche quello del carriuolo e degli uomini impiegati nell'esecuzione della manovra.

§. 872. La fig. 412 rappresenta una grue di forma diversa dalle precedenti, usitata a Liverpool ed in altri porti dell'Inghilterra (1). Il castello di pianta rettangolare, come l'ultimo che si è descritto, sostiene un'antenna inclinata, che porta due girelle, una alla sua estremità che sporge dalla riva, l'altra verso la parte posteriore del castello; e questa seconda girella corrisponde a perpendicolo sul fuso d'una burbera, cui è annessa una ruota dentata, la quale riceve il movimento da un rocchetto, che si fa girare col meccanismo d'una manovella. Per tale disposizione è chiaro che l'alzamento del peso succede nella stessa guisa che nelle grue ordinarie. Nei due lati inferiori del castello sono due larghe travi ugualmente inclinate verso la riva, e sporgenti dalla riva medesima alquanto di più dell'antenna superiore, e i loro dorsi sono solcati longitudinalmente, e ricevono le ruotelle d'un carriuolo rettangolare, il quale può scorrere su e giù sopra di esse come per un piano inclinato. A ciascuna delle due estremità anteriori del carriuolo è attaccata una fune, la quale va a girare attorno ad una girella verticale infissa alla punta del corrispondente trave inclinato, quindi si

(1) Le Sage — *Récueil de divers mémoires à l'usage des ingenieurs*.

volge a passare sopra un'altra girella fissata alla sommità della colonna posteriore del castello della stessa parte, e pende finalmente dietro cotale colonna, tenendo al suo capo un contrappeso; da che nasce che il carriuolo è incessantemente stimolato ad ascendere verso la sommità del piano inclinato formato dalle due travi sostenitrici. Se non che esso è ritenuto al pari delle due colonne anteriori, presso il ciglio della riva, da due chiavistelli verticali, che possono esser tolti e rimessi per un meccanismo, il di cui giuoco dipende dall'alzarsi, e dall'abbassarsi d'un vette a contrappeso, situato questo nella verticale che passa per l'estremità dell'antenna, talmente che alzandosi tale contrappeso si alzano i chiavistelli, e si libera il carriuolo; e rimanendo il contrappeso stesso abbandonato, i chiavistelli sono di nuovo spinti a basso. Ora la fune, che scende ad aggrappare il peso da alzarsi, porta infilato in un certo punto un globo, il quale quando nell'atto della manovra giunge ad incontrare il prefato meccanismo, solleva il braccio del vette cui è attaccato il contrappeso, e quindi si alzano i chiavistelli, ed il carriuolo sfugge alla sommità del piano inclinato, ove si trova verticalmente sotto il peso già alzato. Virandosi allora alla burbera in senso opposto a quel di prima, si fa discendere il peso a portarsi sul carriuolo, e si scioglie la fune che lo riteneva; e in tale stato di cose la sola azione della gravità basta a far discendere il carriuolo col carico soprastante fino al fondo del piano inclinato; ed intanto i chiavistelli, non essendo più ritenuti dall'impedimento del carriuolo, per semplice effetto del predetto contrappeso, entrano di bel nuovo nelle loro bocchette, talmente che quando è scaricato sulla riva il masso, il carriuolo alleggerito, tratto da suoi contrappesi, risale pel piano inclinato, viene arrestato nella posizione primitiva dal ritegno de' medesimi chiavistelli. E quindi le cose sono tutte ridotte nello stato di prima, e si può tornar da capo a ripetere se occorre la manovra. A rendere pronto il distacco della massa della fune elevatoria tosto che la prima giunge a posarsi sul carriuolo, e sopra tutto a far sì che tale distacco succeda spontaneamente, senza che sia d'uopo di manuale operazione, si suole appendere alla fune una tenaglia a molla, la quale non istà chiusa se non che fintanto che la gravità della massa aggrappata vince la forza elastica della molla, che tende ad aprirla, e si apre di fatti all'istante, appena che la massa stessa trovando ove appoggiarsi tralascia d'agire col suo peso contro la forza elastica della detta molla.

Questa grue, cui il Borgnis (1) nomina *a punto di sospensione*

(1) Nel luogo precitato.

metodi che dir si possono generali, poichè è ben raro che dai medesimi sia d'uopo di declinare.

Per l'alzamento de materiali minuti, o liquidi, come sono le pietre laterizie, il pietrame, le malte, e l'acqua, si fa generalmente uso della conocchia (§. 832), e talvolta anche d'una burbera a manovella, che è quella cui volgarmente in Roma si attribuisce il semplice nome di burbera. Dai due capi della fune, che si avvolge al fuso, pendono due secchioni o mastelli, l'uno de' quali ascende ripieno, mentre l'altro discende vuoto, e così alternativamente portano le materie all'altezza prescritta, e tornano quindi a basso per prendere nuovo carico. Ma vuolsi osservare che, quando è piccola l'altezza a cui le materie debbono essere tirate, torna più conto di farvele trasportare dai manovali dentro secchie, ovvero dentro que' bacini di legno, che dai muratori sono chiamati volgarmente *schifi*, ed in alcuni paesi più propriamente *conche*; perchè in tal caso la mano d'opera, che si perderebbe nello scaricare e caricar le materie, onde metterle ne' recipienti che pendono dalla burbera, e levarnele quindi allorchè son giunte all'altezza, cui occorreva di portarle, e per porle quivi in altri adattati ricettacoli, a fine di tradurle a quei vari punti della fabbrica, ove debbono essere impiegate, non sarebbe compensata da quel risparmio di braccia, che si conseguirebbe nell'effettiva ascensione delle materie stesse tratte dalla burbera, anzi che portate a schiena dai manovali. In simili casi la convenienza di preferire il trasporto eseguito tutto a spalla all'impiego della burbera, o viceversa, deve esser dedotta dai risultati d'attenti calcoli comparativi della quantità e della spesa di mano d'opera, che si richiede per l'intero trasporto della materia dal luogo, ov'è depositata al piede dell'edificio, fino a quel punto superiore, ove dev'andare in opera, sia con l'uno, sia con l'altro dei due metodi.

Per l'alzamento delle travi, e delle grosse pietre da taglio, in Italia si fa unicamente uso della combinazione d'argani e di paranchi; avendosi sempre modo di assicurare le taglie fisse alle sommità de' grandi ponti di servizio (§. 403), i quali principalmente a tal effetto si costruiscono intorno alle nuove fabbriche: ovvero a qualche robusta armatura appositamente costrutta a luogo opportuno, quando si tratti di ristauri o di aggiunte da eseguirsi nelle parti superiori d'un edificio preesistente. Le vette de' paranchi per mezzo d'opportune troclee di richiamo si volgono orizzontalmente, a poc'altezza da terra, verso gli argani, dai quali debbono essere tirate.

§. 875. Nella Francia l'alzamento de' grossi materiali da costruzione si eseguisce generalmente, per mezzo di burbere a ruote (§. 832), di capre a verrocchio, d'ingegni, di gruette (§. 863), e di grue

(§.864 e fig.); quest'ultime impiegandosi spezialmente all'uopo di potere con un stesso apparato tirar su verticalmente il carico, e quindi fargli percorrere o da una banda o dall'altra un breve tragitto orizzontale, allorchè qualche ostacolo impedisce di tirarlo su direttamente in linea verticale da terra, sino al punto superiore, ove occorre di farlo pervenire. Ma i costruttori italiani anche in simili casi non hanno mestieri di dipartirsi dal prefato metodo, e con l'opportuna disposizione di vari paranchi traenti contemporaneamente il corpo, che dev'essere alzato, verso vari punti, con forze moderate a seconda del bisogno, lo avvicinano a poco a poco, e lo fanno arrivare al punto prefisso. Così per esempio se un corpo $C$ (fig. 414) comunque esistente in una verticale $AB$, la quale sia in un medesimo piano coi dati punti superiori $M$, $N$, debba essere tirato ad un altro dato punto $P$, posto nel piano medesimo fuori della suddetta verticale: sospendendo due paranchi $xz$, $x'z'$ ai punti $M, N$, legando il peso alle due taglie mobili $z$, $z'$ e quindi applicando alle vette $U, V$ de' paranchi due forze, che agiscano con un'opportuna scambievole relazione, il corpo s'incamminerà per una linea diversa della verticale $AB$, e giugnerà per essa al fissato punto $P$. Ed è poi chiaro come con l'impiego d'un terzo paranco potrebbe il corpo essere tirato in un punto situato fuori del piano verticale, che passa pei punti di sospensione de' primi due paranchi, giacendo da prima comunque il corpo stesso in una verticale, che passi dentro il triangolo che ha i suoi vertici nei tre punti di sospensione. Tanto nel caso che basti d'impiegare due soli paranchi, quanto se occorresse d'adoperarne tre, ovvero un maggior numero, si potrebbe sempre esaminare teoricamente il problema, e mediante le formole dinamiche del movimento d'un corpo libero sollecitato da più forze (1), si potrebbe agevolmente mettere in chiaro la relazione, che regnar dovrebbe fra le forze agenti alle vette dei diversi paranchi, affinchè il peso avesse ad essere certamente condotto al dato punto; e potrebbe pure determinarsi la linea, che nell'atto del movimento verrebbe descritta nello spazio dal punto, pel quale il corpo sta appeso agli uncini delle varie taglie mobili. Ma ne' casi comuni si suol prescindere da tali scrupolose indagini; e sì fatte operazioni sogliono per lo più essere semplicemente regolate con quella discrezione, che vien insegnata dalla pratica.

§. 876. Occorre talvolta di far prendere ad una trave, o ad un lungo masso di pietra, nell'atto che vien tirato in alto, varie positure

(1) Venturoli — Vol. I lib. II cap. XXIII.

oblique, sia perchè possa evitare qualche intoppo, che si presenti lungo il cammino verticale, sia dipendentemente da qualche altra particolare circostanza. In simili casi conviene adoperare due paranchi, che abbiano lo stesso punto di sospensione, e che scendano ad aggrappare uno l'uno, l'altro l'altro dei due capi della trave o del masso, come si ravvisa nella fig. 415. Con tale disposizione, ben si vede che la positura del corpo tirato in alto potrà regolarsi in ogni epoca a piacimento, modificando opportunamente l'azioni delle forze, che agiscono alle vette dei due paranchi.

§. 877. Si scorge quindi che le combinazioni d'argani e di paranchi, di cui, come dicemmo (§. 875), unicamente si valgono gl'italiani costruttori all'uopo di alzare i grossi materiali per la costruzione delle parti superiori degli edifici, possono essere agevolmente adattate a tutti i casi, che nella pratica sogliono presentarsi. E codesto metodo degl'italiani costruttori per la sua semplicità, per la speditezza dell'effetto, per la sicurezza de' travagliatori, e per l'economia della spesa riporta il vanto sopra il metodo oltremontano, che come fu detto (§. 875), impiega degli apparati portatili, i quali esigono essi medesimi una faticosa manovra per essere tirati in alto, ed abbisognano de' canapi e robusti ponti di servizio, ove possano essere acconciamente e sicuramente allagati. All'opposto il metodo italiano non ha d'uopo di grandi ponti o armature poichè basta di scegliere o di stabilire opportunamente in alto uno o più saldi punti d'appoggio secondo le circostanze, per potervi affidare con sicurezza le taglie fisse dei paranchi; e gl'argani vanno situati in piana terra, ne' punti che si trovano più a proposito per la spedita esecuzione della manovra. Ed hassi di più il vantaggio di poter impiegare la forza de' cavalli, o de' bovi, come si fece nelle grandi manovre del trasporto e dell'erezione dell'obelisco vaticano, ed in altre somiglianti difficoltose operazioni; il qual vantaggio non può aversi nelle grue, e negli altri apparati dello stesso genere, di cui si fa uso oltremonte.

§. 878. Per ischivare la difficoltà di regolare opportunamente le forze applicate alle vette de' diversi paranchi, a fine di far salire obliquamente un peso da essi aggrappato, allorquando per qualche interposto impedimento non può essere verticalmente tirato da terra al punto superiore cui deve pervenire (§. 875), si offre un ingegnoso artifizio, che ci racconta il Borgnis (1) essere stato immaginato e messo in pratica

(1) *Mouvement des fardeaux* - Lib. III. cap. VI. — *Traité de construction* - Lib. III cap. III.

da un maestro muratore di nome Crovato, nell'occasione che si dovettero tirar in alto delle pesantissime pietre per la costruzione delle parti superiori del nuovo palazzo reale di Venezia, ne' primi anni di questo secolo, quando quella città faceva parte del regno italico. L'artifizio del Crovato fu analogo a quello delle grue a punto di sospensione mobile in linea retta, delle quali abbiamo dato antecedentemente ragguaglio (§. 871). La taglia fissa del paranco fu attaccata ad un carriuolo, capace di scorrere innanzi e indietro su d'un telaio, che si poneva per traverso ov'era d'uopo in sommità dell'armatura che circondava l'edificio. Ad un'estremità del telaio era infisso un verrocchio orizzontale, al quale facevano capo due funi, una che era fissata a quell'estremità del carriuolo, che era della banda del verrocchio, l'altra che partiva dall'opposta estremità del carriuolo, e quindi andava a voltarsi su d'una troclea fermata all'altro estremo del telaio. Quindi è chiaro come col far forza sul verrocchio per farlo girare o verso il carriuolo, ovvero nel senso opposto, si poteva secondo il bisogno tirare il carriuolo medesimo o dalla parte della troclea, o dall'opposta. In tal guisa avevasi la facoltà di disporre l'apparato talmente, che il punto di sospensione si trovasse in una verticale, per cui non fosse impedita l'ascensione della pietra da qualche interposto ostacolo; e quando la pietra era salita a segno di aver superato l'impedimento, veniva con un'opportuna trasposizione del carriuolo portata avanti o indietro quanto era necessario, perchè potesse perfettamente corrispondere al sito, in cui doveva essere collocata.

§. 879. Nella medesima occasione lo stesso Crovato divisò, e mise a prova una nuova foggia di paranchi, ne' quali la fune è talmente disposta che, mentre i paranchi usuali hanno una sola vetta e richiedono un solo argano, in codesti nuovi paranchi le vette sono due, alle quali corrispondono pure due argani. Ciascuna delle taglie vuol essere di quattro, o d'altro numero pari di ruotelle, e tutto l'artifizio consiste nell'accomodare una fune alla metà delle ruotelle della taglia fissa, ed alla metà corrispondente della taglia mobile, in modo che ne risulti un paranco ordinario, come se non esistessero l'altre ruotelle nè nell'una nè nell'altra delle due taglie; e nel formare quindi con altra fune un altro paranco adattandola a quelle ruotelle, che prima eransi trascurate. Così con due sole taglie si ottiene un doppio paranco, o sia un paranco a due vette, il quale nelle manovre di tirar in alto dei pesi, dovendo essere combinato con due argani, offre il vantaggio di poter impiegar senza confusione, e con maggior profitto, un maggior numero di persone, di quello che potrebbe impiegarsi in un paranco usuale, fatto con le medesime taglie, e non combinabile che con un solo argano. Si assicura in oltre essersi

sperimentato che tale espediente contribuisce alla regolarità ed alla facilità del movimento; e quindi si addita come una novità utile, e che merita perciò d'essere accolta nella pratica delle manovre architettoniche.

§. 880. Le travi, e le pietre da taglio, che debbono essere tirate in alto per mezzo de' vari apparati, di cui abbiamo fin qui ragionato, sogliono essere imbracate, cioè cinte opportunamente di funi, per poter essere attaccate alla taglia mobile, ovvero al capo d'una fune, per mezzo della quale vengono sottomesse all'azione della potenza. La fune che cinge una trave, ovvero una pietra per l'oggetto anzidetto, dicesi *braca*. I modi d'imbracare le travi sono semplici e facili, e non esigono particolari considerazioni. Le figure 416, 417, mostrano i due modi più comuni e più semplici d'imbracare le pietre conce; i quali sono così chiari, che non abbisognano di veruna spiegazione. Le brache in generale ostano al collocamento in opera delle pietre, ed è quindi indispensabile, quando una pietra è salita fino a quell'altezza ove dev'essere situata, di posarla fuori del posto, a cui è destinata, di sciogliere, e di levare la braca, e poscia di spingere la pietra a forza di paletti di ferro maneggiati in qualità di leve, e di accomodarla al suo posto; operazione estremamente lunga e laboriosa, e che ben di rado conduce perfettamente all'intento di mettere la pietra nella divisata giusta positura. Codesto intento assai più speditamente, e più squisitamente si può ottenere quando la pietra si sospende all'apparato elevatorio non ne per mezzo di brache, ma bensì di qualche meccanismo, che non ne ingombri le facce, che devono accostarsi all'altra pietra precedentemente elevata, perchè così continuando a tenerla sospesa, con poco si riesce, volgendola e collocandola studiosamente, ad assettarla nella vera posizione che ad essa conviene, secondo le buone regole dell'arte. A tal effetto vari espedienti furono in uso presso gli antichi, e se ne hanno non dubbi segni nelle pietre che compongono gli avanzi di molti vetusti monumenti. Tali sono i solchi a sifone, che veggonsi scavati nei fianchi delle grandi pietre componenti alcuni antichissimi monumenti della Sicilia, i quali solchi verosimilmente si congettura che fossero destinati a ricoverare le brache, da cui erano rette le pietre, mentre si alzavano per essere messe in opera, affinchè potessero essere situate senza bisogno di sciogliere, e potessero estraersi facilmente le brache quando i massi erano stati posati a segno. Così fatto artifizio vedesi rappresentato nella fig. 418. Talune cavità, che si osservano nelle parti superiori delle pietre in molti e molti avanzi di fabbriche romane, sono assai probabilmente que' forami, che servirono, come racconta

Vitruvio (1), ad introdurvi le branche delle tanaglie, per mezzo delle quali si aggrappavano le pietre, e si attaccavano alla taglia, o alla fune destinata a tirarla su da terra fino all'altezza cui dovevano essere collocate. Le fig. 419, 420, 421 mostrano le varie forme, di cui il Perrault, ed il Piranesi hanno congetturato potessero essere le tenaglie, adoperate dagli antichi architetti all'uopo anzidetto. Il meccanismo di tali tanaglie in genere doveva esser tale, che il peso della pietra obbligasse le due brache a stare aperte, e ne rendesse impossibile l'estrazione, finchè la pietra non veniva posata, e non cessava il di lei peso di forzar la tanaglia a mantenersi aperta come si è detto. Egli è anche probabile che, onde la tanaglia più sicuramente si mantenesse aperta, e non potesse sfuggire dal buco, in cui era stata introdotta, si usasse anche di fermarla con un peruo *m* (fig. 420, 421) di ferro inserito in un foro fra le due branche, per cui fosse impedito ad esse di ravvicinarsi (2).

I moderni costruttori invece delle tanaglie adoperano altri ordegni, cui danno il nome di *ulivelle*. La fig. 422 rappresenta un ulivella di cui è generale l'uso in Italia, e di cui si attribuisce l'invenzione al Brunelleschi (3). Essa è composta di tre pezzi d'acciaio, o di ferro finissimo, dei quali i due laterali *p, q* sono cuneiformi, ed il medio *m* è di figura parallelipepeda; e tutti tre uniti formano un solido pure cuneiforme, come si osserva nella figura. Si cava nella pietra un buco, di figura e dimensioni corrispondenti a questo solido, in guisa che la più piccola delle basi del cuneo si presenti alla superficie del masso, e quindi poi il foro si dilati, ed abbia il fondo uguale alla base maggiore del cuneo. S'introducono in questo foro prima i due pezzi laterali *p, q* dell'ulivella, e si spingono a' loro luoghi, e dipoi s'inserisce in mezzo ad essi il parallelopipedo *m*. All'estremità esteriore ciascun pezzo ha un occhio circolare; ed in questi occhi s'infila un perno di ferro *m* con testa o bottone da un capo, e con una piaga all'altro capo, per fermarlo con una zeppa parimenti di ferro. A questo medesimo perno va infilato un manico *eo* a ferro di cavallo, che serve ad attaccare l'ulivella ed il masso, che ad essa si attiene, alla taglia mobile del paranco, ovvero al capo della fune pendente dalla sommità dell'apparato elevatorio, di qualunque specie esso sia. Egli è poi chiaro come l'ulivella possa agevolmente esser dismessa, e staccata

(1) Lib. X cap. II.
(2) Borgnis — Nel luogo precitato.
(3) Vasari — *Vite de' più eccellenti pittori, scultori ed architetti*.

dalla pietra, allorchè questa è stata alzata, e collocata esattamente al suo posto.

Nella fig. 423 si rappresenta un'altra ulivella usitata dai costruttori francesi. Essa è composta di tre soli pezzi, che non abbisognano d'essere uniti con un perno, come quelli dell'ulivella italiana, ma per la forma loro quantunque sciolti si fanno vicendevole contrasto, e dal peso stesso della pietra, quando questa si tira su, resta ad essi impedito di disunirsi e di uscire dal foro in cui sono riposti

## CAPO V.

### *Strumenti e macchine effossorie.*

§. 881. Daremo il titolo di *effossori* a tutti quegli strumenti, e a quegli apparati meccanici, per mezzo dei quali si rompe e si smove il terreno, per le varie occorrenze, che costituiscono lo scopo di quei lavori, cui sul principio di queste istituzioni demmo già il nome di lavori di terra. Taceremo di quegli strumenti che per l'uso preindicato sono di pertinenza tanto dell'agricoltura, quanto dell'arte delle costruzioni, i quali sono comunissimi e generalmente noti, come le zappe, le vanghe, gli aratri, rastelli, ec. E ci tratterremo particolarmente a considerare alcuni espedienti meccanici più propri dell'architettura; e dei quali essa approfitta in certi casi più malagevoli, ove gli anzidetti usuali mezzi sarebbero intrattabili, o inefficaci.

§. 882. Si offrono pei primi in questa categoria quegli strumenti, che servon ad esplorare l'indole del terreno a qualche profondità sotto la superficie del suolo; indagine importantissima ed impreteribile, ove si tratti di assegnare la traccia d'un nuovo argine (§. 17. n. 2), o d'una nuova strada (§. 76.): ovvero di prestabilire il temperamento più opportuno da adottarsi nella fondazione di qualche edificio, corrispondentemente alla naturale disposizione del fondo sul quale dev'esser piantato (§. 565.). Lo strumento, che più comunemente si adopera per l'esplorazione del terreno, consiste in una verga di ferro di conveniente lunghezza, e della riquadratura di sei o al più di otto centimetri, nelle di cui facce sono incavate delle nicchie, o cellette, più larghe, è più fonde nel da piedi che nel da capo, le quali quando si vuol intraprendere l'esperienza si riempiono di sego. Si affonda verticalmente in terra questa verga a colpi di maglio, se fia d'uopo ancora col sussidio d'una berta, finchè siasi raggiunta la voluta profondità. Si ritrae allora la verga, facendola girare mercè d'un'asta infilata in un occhio formato a bella posta nella sua sommità; con che resta espulso il sego dalle

cellette, e si riempion esse di terra, che fa conoscere la natura dei vari strati di materia chi si succedono gli uni agli altri sotto la superficie del suolo. Ma quando l'esplorazione dev'estendersi a molta profondità, il maneggio della prefata verga esploratrice addiviene incomodo; e sopra a tutto si rende malagevole la di lei estrazione. In tal caso si preferisce l'uso d'una trivella, che ha il fusto composto di molti pezzi; ciascuno della lunghezza di uno in due metri, i quali s'invitano l'uno nell'altro, a mano a mano che l'istromento va penetrando sotto terra. Allorchè poi si è spinto il succhio a quella profondità, a cui si vuol conoscere l'indole del fondo, si ritira la trivella facendola girare in senso contrario a quello, con cui fu spinta a basso; ed estrattala si trova il suo succhio o cartoccio ripieno di materia: ed è questa un assaggio di quella che compone lo strato naturale alla raggiunta profondità. Coteste trivelle inservienti all'esplorazione del terreno sono denominate comunemente in Italia *trivelle galliche*.

§. 883. I metodi or ora spiegati riuscirebbero impraticabili, o si tenterebbero infruttuosamente, qualora si trattasse di assaggiare il terreno sotto un fondo coperto dall'acqua, come non di rado avviene nell'occasioni d'idrauliche costruzioni. Si può procedere in simili casi all'esplorazione del fondo o con quel metodo, di cui si fece uso per la fondazione del ponte di Moulins, e che fece conoscere l'indole del fondo a più di 15 metri di profondità sotto la superficie del letto del fiume Allier; ovvero con l'altro metodo, pel quale a Ambleteuse nella Francia si spinse il saggio del fondo fino a 25 metri sotto il suolo allagato. Di tali due metodi riferiti dal Gauthey (1) il primo consiste nell'affondare dei pali grossi di diametro 40 in 50 centimetri, forati a guisa di tubi, così che il vuoto cilindrico abbia un diametro di 10 in 12 centimetri. Battuto un primo palo, che per maggior facilità dell'affondamento si munisce nella punta di un cuspide (§. 235) di ferro, avente un foro corrispondente a quello del tubo fatto internamente nel palo, quando la sua testa è vicina ad esser coperta dall'acqua, vi si aggiunge un altro de' pali apparecchiati innestandoli insieme con adattato modo di giuntura (§. 252), e nella stessa guisa si prosegue quanto è necessario, estraendo intanto a mano a mano con una trivella la materia che resta rinserrata nell'interno tubo, la quale fa conoscere la natura del terreno esistente a diverse profondità sotto la superficie coperta dall'acqua. Il secondo metodo non differisce dal primo, se non in quanto

(1) *Traité de la construction des ponts*. Lib. IV cap. I.

s'impiegano, anzi che i pali bucati a guisa di tubi, dei robusti cassettoni di grosse tavole sfondati, dell'apertura di 40 in 50 centimetri in quadro, e della lunghezza di m. 2, i quali del resto si adoperano nella stessa guisa de' pali, battendoli, ed innestandoli progressivamente, ed estraendo a mano a mano con la trivella la materia racchiusa. I lembi inferiori del primo cassettone vogliono essere gueruiti d'un orlo tagliente di ferro, affinchè possano con facilità penetrare nel fondo senza sconciarsi.

§. 884. Gli ordinari strumenti, con cui si eseguiscono gli scavi del terreno, riescono insufficienti quando il fondo sul quale si deve operare è inondato dall'acqua, o al più possono essere servibili quando l'altezza dell'acqua non sia maggiore di m. 0,50 (§. 6); sempre che la materia sia di sua natura facile a smuoversi. In caso diverso, meno che non si riconosca possibile e conveniente di espeller l'acqua, per poter eseguire l'operazione a secco, egli è d'uopo di ricorrere all'uso di semplici strumenti, ovvero di macchine, che valgono a smuovere e a scavare il fondo, malgrado l'acqua che lo ricuopre.

§. 885. Gli strumenti effossori per gli scavamenti sott'acqua chiamansi *cucchiaie*: in Francia sono conosciuti sotto la denominazione di *dragues*. Ve ne sono due specie. Le cucchiaie della prima specie servono per lo scavamento delle materie sabbiose; quelle della seconda specie sono destinate allo scavamento delle materie fangose. La fig. 424 rappresenta una cucchiaia della prima specie. Essa non è altro che una cassa di lamiera, o sia bandone di ferro (§. 436), aperta dinanzi, e nella parte di sopra, pertugiata da tutte le bande, e guernita d'un manico alquanto flessibile, di lunghezza proporzionata alla profondità dell'acqua, sotto cui si deve operare. Si maneggia questo istrumento senza bisogno di verun meccanismo, stando i manovali travagliatori su d'una barca, o su d'una zattera, calando a basso la cucchiaia, spingendola a penetrare nel fondo, sostenendone il manico con la spalla, e ritirandola quando è piena di materia per vuotarla dentro la barca. Nella fig. 425 si mostra una cucchiaia della seconda specie, la quale ha il semplice contorno di ferro, con punte taglienti, per potersi insinuare facilmente nel terreno, e col fondo di grossa tela cucita al contorno con ispago, infilato ne' buchi esistenti a tal uopo nel contorno stesso di ferro. Si è conosciuto per esperienza che il prodotto ordinario dell'opera d'un uomo nello scavamento d'un fondo arenoso, per mezzo d'una cucchiaia della prima specie, sotto un'altezza d'acqua di circa m. 1,50, non oltrepassa un metro cubo di materia scavata per ciascun giorno; e che con l'impiego d'una cucchiaia della seconda specie un abile operaio può nelle ore lavorative d'una giornata estrarre 12 ed anche 14 metri

cubi di fango, mantenendosi l'acqua alta circa m. 2 sul fondo in cui deve farsi lo scavo. È importante che la barca, ovvero la zattera, che serve come di palco per l'esecuzione delle manovre di cui parliamo, sia armeggiata con funi a saldi ritegni, ovvero fermata da più remi piantati verticalmente nel fondo da ambi i lati, i quali le impediscano di spostarsi. Quando in mezzo all'arena od al fango esistono dei grossi sassi si procura di scalzarli all'intorno, e quindi si estraggono con appositi strumenti dentati, qual è quello che si rappresenta nella fig. 426, cui si dà il nome di *graffi*.

§. 886. L'uso delle descritte cucchiaie a mano riesce vantaggioso sempre che le materie da smuoversi non sieno troppo consistenti, e l'altezza dell'acqua soprastante non sia eccessiva. Sono massimamente utili codesti strumenti effossori per gli scavamenti che debbono eseguirsi entro angusti spazi, ove non sieno praticabili gli apparati, di cui fra poco si darà contezza; siccome altresì le quante volte l'area, sulla quale dev'estendersi l'operazione, non sia abbastanza vasta, perchè l'economia, che risulta dall'impiego di tali apparati, possa offerire un adeguato compenso della spesa che occorre per ammannirli.

§. 887 La fig. 427 dimostra una macchina effossoria per gli scavamenti sott'acqua da gran tempo usitata nell'Olanda (1), posteriormente introdotta in Francia, e adoperatavi in parecchie occasioni, per effettuare degli scavi dentro le palificazioni di fondazione di vari cospicui idraulici edifici. Essa è conosciuta sotto il nome di macchina a *gerle* o a *cappelletti*. A fin di dar idea di codesto apparato non faremo che tradurne letteralmente la descrizione, che di esso ne offre il Gauthey (2).

» La macchina è principalmente composta di due rulli *A A*, e d'un » verricello *D*: i due rulli vanno a contatto del fondo, ed il verricello è situato in alto nel di sopra del palco. Questi e quelli sono avviluppati da una catena, le di cui maglie alternativamente piatte e » quadre, come vedesi a parte *X*, portano di tanto in tanto della gerle, o cappelletti di bandone *t, t, t*, . . . , traforate a piccoli pertugi » per lo scolo dell'acqua, ciascuna delle quali gerle termina in un » rostro sporgente, onde possono esse facilmente penetrar nella sabbia. I due rulli *A A* sono riuniti mediante due traverse, che ne sostengono i perni, e che sono sostenute da quattro ritti *N N*, » *N N*, *N N*, *N N*, che si nominano *elinde*. Quattro colonnelli

(1) Belidor — *Architecture hydraulique* — Parte II. lib. III. cap. IX.
(2) *Construction des ponts*. Lib. IV cap. II. sez. III.

» reggono il verricello $D$ guernito d'un riccio o ruota a sei fianchi,
» dei quali tre sono in risalto, ed entrano nelle maglie quadre della
» catena. Questi colonnelli sono congiunti alle traverse superiori $CC$,
» $CC$, del castello, le quali sono a contatto dell'elinde, e sulle qua-
» li l'elinde medesime sono tenute a conveniente altezza mediante le
» caviglie $O$, $O$, $O$, $O$, le quali essendo ficcate più o meno in alto, dan-
» no modo di far agire le gerle con maggiore o con minor forza sul
» fondo arenoso. Si viene a conoscere che la gerla trova troppa resi-
» stenza, quando si vede che l'elinde si sollevano, e che le caviglie
» $O$, $O$, $O$, $O$ non si appoggiano più su le traverse. Per imprimere il
» movimento alla macchina si fa girare la manovella $M$, il di cui asse
» sostiene un rocchetto, che ingrana in una ruota dentata connessa al
» verricello $D$. Le gerle salgono successivamente dopo d'essersi riem-
» piute di sabbia passando sotto i rulli $A$, $A$: arrivate al di sopra del
» riccio si capovolgono, e la sabbia si rovescia sulla tavola inclinata $GG$,
» la quale può girare intorno al suo lembo inferiore, e vien ritirata
» mediante l'impugnatura $H$, perchè le gerle possano liberamente pas-
» sare. A misura che lo scavo si approfonda fa d'uopo di abbassa-
» re i rulli $A$,$A$, e di allungar la catena, il che si ottiene con ag-
» giugnervi delle maglie posticcie, fatte e congegnate come si osserva in
» $N$. Qualora l'arena o il sabbione resista eccessivamente alle gerle, con-
» viene smuoverlo, sostituendo alle gerle dei graffi di ferro, fatti come
» quello che si vede delineato in $Y$; ed è bene spesso necessario di di-
» sporre alternativamente lungo la catena un graffio ed una gerla. Ognu-
» no di questi organi operatori è affidato ad una maglia piatta, capace
» come l'altre di passare sul riccio, e di ricevere le maglie posticcie.

» La descritta macchina alle volte è posata immediatamente sul
» palco o ponte di servizio per mezzo delle traverse inferiori $DD$,
» $DD$; ma torna meglio d'addossarla ad un carretto sostenuto da rulli.
» La macchina collocata sulle due sponde del carro può scavare tutto
» l'intervallo compreso fra due file di pali; e per condurla poi ad agir
» fra due altre file, si tirano su l'elinde quanto basta perchè i rulli
» $A$, $A$ sormontino il livello del palco. Si potrebbe anche ottenere l'in-
» tento disponendo semplicemente dei rulli sotto le traverse inferiori,
» in guisa che potessero essere collocati a piacimento in qualsivoglia
» punto delle traverse; richiedendosi per altro in tal caso che le tra-
» verse stesse fossero bastantemente lunghe e robuste.

§. 888. Il Perronet (1), dopo una diffusa descrizione dell'apparato

---

(1) *Oeuvres* - Tomo II pag. 24.

di cui parliamo, istituisce il calcolo della spesa occorrente per la costruzione d'una di tali macchine, avente delle elinde lunghe m. 8. L'importo totale di essa risulta, secondo i dati assunti dal calcolatore, di franchi 717,30 equivalenti a scudi romani 133,50 circa. Sappiamo poi dallo stesso Perronet che nella fondazione del ponte d'Orleans sulla Loira furono adoperate tre di codeste macchine effossorie, che ciascuna di esse era tenuta in esercizio da sei persone, e che in ciascun giorno estraeva circa m. c. 11 di arena, sotto un corpo d'acqua alto più di due metri. Il de Cessart si valse di simili macchine a gerle nella fondazione della gran chiusa di Dieppe (§. 395), e ne ottenne un effetto soddisfacentissimo, quantunque si trattasse di vincere la resistenza d'un fondo durissimo, di ghiaia tenacemente conglutinata (1). Nell'Inghilterra la macchina a gerle è stata adottata per gli spurghi de'porti, de'fiumi, e de'canali; e se n'è reso più economico l'uso in tali operazioni con adattarvi un ricevitore termodinamico, o sia a vapore (§. 792) (2). Ma quando il fondo da scavarsi è sassoso, e di molta consistenza, per evitare che le catene sotto un eccessivo sforzo vengano a strapparsi, conviene organizzarle e disporle in guisa che abbiano più vigore a resistere, di che non parleremo per brevità, potendosi a tal proposito consultare i vari autori, che abbiamo testè citati.

§. 889. Sebbene quando si tratta di fondare un edifizio idraulico in via di palificazione (§. 384), se il fondo abbia d'uopo d'essere scavato, si deve lo scavamento premettere all'impianto della palificazione, a fine di rendere più spedita e meno costosa l'una e l'altra delle due operazioni; tuttavia accade talvolta di dovere scavare dentro gl'intervalli delle file d'una palificazione già fatta, ove la troppa vicinanza scambievole delle file non lascia campo di poter impiegare la macchina a gerla, e la soverchia altezza dall'acqua non consente che possano proficuamente adoperarsi le cucchiaie a mano (§. 885). Tanto avvenne nella fondazione d'una delle pile del ponte d'Austerlitz (§. 397), perchè la palificazione fondale essendo stata formata prima d'inverno, le piene invernali avendo deposto quantità d'arena ne'vani della medesima, fu d'uopo di rimuovere tale deposizione; e per non ritardare di troppo il progredimento dell'opera si dovè eseguire tale spurgo prima che l'acque del fiume si fossero ritirate a segno di permettere l'impiego delle cucchiaie a mano. La macchina che fu utilmente adoperata in

(1) *Description des travaux hydrauliques de L. A. de Cessart* - Tomo II sez. I artic. VII.

(2) Borgnis - *Des machines employées dans les constructions diverses* - Lib. II cap. II.

tale occasione dal Lamandè merita d'esser conosciuta, poichè può essere generalmente opportunissima in simili casi. Cotesta macchina consiste in quattro elinde, disposte agli angoli d'un rettangolo, lungo circa m. 3. Ai due capi del rettangolo da ciascuna coppia delle prefate elinde è sostenuto un *riccio*, o sia un cilindro orizzontale, con acuti denti di ferro capaci di smuovere il fondo che vuolsi scavare. Ai lati maggiori del rettangolo, base della macchina, sono due traverse, che reggono due gerle supine, rivolte in senso opposto l'una dell'altra, avendo ciascuna di esse la bocca verso il riccio, che le è più prossimo. Situando codesto apparato fra due file della palificazione, talmente che l'elinde sieno verticali, ed i ricci e le gerle l'appoggino sul fondo, che deve essere spurgato, e quindi imprimendo alla macchina il movimento progressivo, accade che la gerla, che in tale movimento avanza con la bocca innanzi, raccoglie di mano in mano, e trae seco la sabbia, smossa dal riccio che la precede, fino all'estremità della palificazione; e che facendosi di poi retrocedere la macchina, è portata all'estremità opposta dall'altra gerla quella sabbia, che dal corrispondente riccio è stata rovesciata. Alle due estremità della fondazione la sabbia è ricevuta da due fossetti, scavati con la macchina a gerle, d'onde viene sgombrata mediante questa stessa macchina. Continuando finchè occorre a tener l'apparato effossorio in esercizio, con l'accennato movimento progressivo alternativo, si consegnisce lo spurgo del fondo, è si perviene in oltre nello stesso tempo a pareggiarlo, vale a dire a ridurne la superficie ad un piano orizzontale (1).

§. 890. Più grandiosi apparati si richieggono per gli spurghi de' porti di mare. A tali apparati si dà il nome di *curaporti*. Usitatissimo nei porti del Mediterraneo è il così detto *curaporti a ruote*, di cui veggonsi in piccolo i disegni icnografico, ed ortografico nelle fig. 428, 429. Tutto il meccanismo insiste ad una barca piatta, di quelle che diconsi *chiatte*, o *puntoni*, lunga ordinariamente fra 18 e 20 metri, larga 6 in 7 metri, ed alta da m. 1,5 a m. 2. La chiatta del curaporti di Tolone, di cui ne vien data una minuta descrizione dal Belidor (2), era di dimensioni alquanto più scarse, mentre la sua lunghezza era di m. 16,65 circa, la sua larghezza di m. 5,92, e la sua altezza, o sia in termine di marina il suo *puntale* di m. 1,44. Sorgono sui due bordi del puntone varie colonnette, o ritti *r*, *r*, *r*,..., coronati d'un cappello presso a poco orizzontale *ccc*, all'altezza di m. 2,27 circa dalla sommità de' bordi medesimi; il quale cappello sporge poco meno di due metri alla poppa, ove è sostenuto

(1) Navier - V. la sua nota a pag. 210 del tomo II del *traité de la construction des ponts par Gauthey*.

(2) *Architecture hydraulique* - Parte II. lib. III. cap. IX.

da altre colonnette inclinate *e*. Alle due estremità sporgenti dei cappelli sono saldamente attaccati due grossi legni *g*, *g* incavati a foggia di morsa ai loro termini esteriori, ove contengono una ruotella di legno *o* per ciascheduno, grossa m. 0,15 circa, e del raggio di m. 0,08, con dado di bronzo nel centro, nel quale è il foro circolare dove va infilata una chiavarda, o cavicchia (§. 487) di ferro. Le ruotelle stesse sono guernite all'intorno di corte lame di ferro poste di traverso, onde non sieno logorate dalle catene, che come diremo debbono scorrervi addosso. Questi due membri *g*, *g* sporgenti dalla poppa, e portanti le dette ruotelle si chiamano le *grue* del curaporti. Le due file de' cappelli sono collegate da varie catene *d*, *d*, *d*, e sostengono i fusi di due ruote a tamburo, delle quali la maggiore, che ha intorno a m. 8 di diametro, è situata nel mezzo circa del puntone; e la minore, che ha di diametro m. 4, è posta verso la prua del puntone. E siccome l'altezza dei fusi su la coperta del puntone è uguale a quella de' cappelli, cui si appoggiano, cioè di m. 2,27, così è palese che la ruota minore potrà girare liberamente senza urtare nella coperta. Ma la ruota maggiore arriverà col suo perimetro fin quasi al fondo della chiatta, onde affinchè possa liberamente girare occorre un'apertura oblunga, che dicesi boccaporta, nella coperta medesima: la qual boccaporta basta che abbia di lunghezza poco più di m. 7, e di larghezza m. 2, o poco più.

Una delle catene *d*, posta fra il fuso del gran tamburo e la poppa del puntone, sporge fuori de' cappelli per m. 0,50 circa, e sostiene colle sue estremità due telai orizzontali, ciascuno formato d'una coppia di travi, e lungo m. 4,22, essendo il vano di ciascun telaio largo circa m. 0,25. Dall'altro capo ciascuno di tali telai è retto da un modiglione *m* assicurato al cappello e ad uno dei ritti *r*, cui corrisponde. Ma la lunghezza del vano stesso si riduce poi a soli m. 3,20 in grazia dei due rulli *n*, *n*, che sono appunto fissati orizzontalmente per traverso a tale distanza scambievole. Dall'una e dall'altra banda del puntone nel vano del telaio, fra i detti rulli, è infilato il lungo manico *x x* d'una cucchiaia *k*. Alla parte anteriore della cucchiaia è attaccata l'estremità biforcata d'una catena di ferro *y y y*, che passa su la grue *g* da quel medesimo lato del puntone, e va ad attaccarsi con l'altra estremità al fuso della gran ruota, sempre dalla stessa banda, ed in vicinanza della ruota stessa. Ciascuna catena ha una lunghezza di 29 in 30 metri. Esse si avvolgono così intorno al fuso della ruota maggiore in senso contrario, una da una parte ed una dall'altra di essa ruota. Il fuso della ruota minore sporge da una parte e dall'altra fuori de' cappelli m. 1,30; ed a queste sue estremità sporgenti *u*, *u* sono attaccati ed avvolti in senso contrario due *libani*, o funi di giunco *z*, *z*, che chiamansi *tira-indietro*, ciascuno dei quali va ad allacciare un pezzo di catena di ferro lungo poco meno di m. 2, che coi suoi due termini

afferra la parte posteriore della cucchiaia, che pende da quel lato del puntone. Ed importa che questi tiraindietro sieno con tal ordine avvolti al fuso della ruota minore, che ognuno di essi si svolga, quando la catena della cucchiaia cui esso appartiene si scorcia, venendo raccolta dal fuso del ruotone, e viceversa.

§. 891 Le cucchiaie sono composte d'un fondo quadrato *A* (fig. 430), che ha di lato m. 1,46; di due sponde laterali, ciascuna delle quali *B* ha la forma d'un triangolo rettangolo, di cui il catteto base è uguale al lato del fondo, cioè a m. 1,46, e l'altro catteto costituente l'altezza posteriore della cucchiaia, è di m. 1,14. La sponda posteriore *C* risulta quindi larga m. 1,46 ed alta m. 1,14. Per altro codeste dimensioni non sono rigorosamente invariabili, ma si additano semplicemente onde si sappia prossimamente quale debba essere la grandezza delle cucchiaie. Tutte le predette parti della cucchiaia sono composte di verghe di ferro alquanto piatte, disposte a graticola, con una fodera interna di tavole di pioppo. La sponda posteriore *C* è divisa in due parti: quella di sopra stabile, e quella di sotto sospesa a due gangheri, e mobile intorno al lato inferiore della parte stabile. La parte di sotto costituisce così una specie di portella o *ribalta*, che sta chiusa in virtù d'un saliscendi a molla, e può essere aperta all' occorrenza per mezzo d'un'asta acuminata *D*, con cui si solleva il detto saliscendi, e richiusa a piacimento solo che si spinga con la punta dell'asta contro i suoi battenti. Il manico della cucchiaia consiste in un'asta d'abete lunga circa m. 13, che ha di diametro da un capo m. 0,27, e dall'altro m. 0,11 circa. L'estremità più grossa di questo manico è attaccata alla cucchiaia mediante due robuste staffe di ferro, uno dei quali l'unisce alla sponda posteriore, l'altra ad un traverso di ferro che collega le sponde triangolari. Il lato anteriore del fondo è armato di vari denti di ferro, affinchè possa più facilmente penetrare nella materia, che dalla cucchiaia dev'essere raccolta.

§. 892. Quando la macchina deve mettersi in esercizio, si conduce, e si arresta nel sito, ove si vuol eseguire lo spurgo, e vi si ferma con quattro canapi, che si attaccano ad altrettante ancore, ovvero alle colonnette, e agli anelli d'ormeggio fissati sulle rive e sui moli intorno al porto. La manovra richiede un capo o *padrone*, ed otto uomini. Sei di questi entrano nella ruota maggiore, e la fanno girare; gli altri due son destinati a far girare la ruota minore. Pel movimento del ruotone quella delle due catene, che si viene a mano a mano avvolgendo intorno al fuso, fa avanzare la cucchiaia, intanto che l'altra catena disposta in senso contrario si svolge, e permette all'altra cucchiaia di retrocedere, siccome questa fa effettivamente, costrettavi dal movimento della ruota minore, che tende il corrispondente tira-indietro, e lo raccoglie intorno all'estremità del proprio fuso. Ed è chiaro che nello stesso tempo il libano della prima cucchiaia, disposto come si disse in senso contrario al secondo, si svolge,

e lascia liberamente progredire innanzi la cucchiaia stessa. Si vede dunque che le due cucchiaie si muovono con opposte direzioni; e che sono in oltre esse capaci d'un movimento alternativo, purchè le due ruote si facciano girare alternativamente verso la poppa e verso la prua del puntone, lasciando durare il periodo di ciascuna alternazione quanto è d'uopo, affinchè l'una delle due cucchiaie faccia l'intero suo tragitto direttamente, mentre l'altra in egual tempo percorre tutto il suo cammino in senso retrogrado.

Quando la cucchiaia, che direttamente procede verso la poppa del puntone, comincia a penetrare nel fondo, ha il suo manico inclinato verso la poppa, ed è appoggiato al rullo del proprio telaio, che giace appunto da quella parte. Il padrone della chiatta, dirigente la manovra, afferra allora una fune *s* (fig. 429) legata verso l'estremità del manico, la quale chiamasi *carghiera*, la volge due volte intorno ad un *tacchetto t* annesso al prossimo ritto, la tien ferma, affinchè la cucchiaia abbia ad insinuarsi nel fondo, e non l'allenta se non che quando si avvede che la cucchiaia è già piena di materia. La cucchiaia continuando il suo viaggio poco tarda allora ad inclinare il proprio manico verso la prua della chiatta, onde lo stesso manico passa ad appoggiarsi sul rullo situato da quella banda del telaio. A poco a poco la cucchiaia nel progredire innanzi si solleva, emerge dall'acqua e continua a salire verso la sua grue. Quando è salita abbastanza vi si fa venir sotto uno dei navicelli destinati ad asportare le materie ritratte dallo spurgo, i quali chiamansi *portafango*; il padrone scansa con l'asta uncinata il saliscendi, che teneva chiusa la ribalta (§. 891), onde questa si spalanca spinta dal peso della roba contenuta nella cucchiaia, ed allorchè tutta la materia è scolata nel portafango, si richiude la ribalta, spingendola contro i propri battenti con la punta dell'asta medesima. Mentre la cucchiaia che si è vuotata discende per riempiersi di nuovo, l'altra salisce già ripiena, e così a vicenda le cucchiaie discendono e salgono, si riempiono e si vuotano, e si viene effettuando lo spurgo.

§. 893 I portafanghi sono di due specie, piccoli e grandi. I primi sono di fondo piatto, e terminati ugualmente in punta alla poppa ed alla prua. Hanno nel mezzo una specie di cassa contenuta fra due tramezzi, che si estendono dall'uno all'altro dei bordi fino al fondo. Quando sono carichi si guidano ove la materia dev'essere deposta, e si vuotano per mezzo di pale. I portafanghi della seconda specie, che chiamansi anche *trabocchetti*, sono barche della lunghezza di 14 in 15 metri, larghe m. 4,35, fonde m. 1,79. A distanza di m. 4 e poco più della poppa è formato un pozzo, o vogliasi dire una cassa per contenere la materia dello spurgo, fatto a foggia di piramide tronca rovesciata di base quadrata

larga m. 2,92 da capo, e m. 1,41 da piedi, e alta m. 1,79, onde la sua capacità risulta di m. c. 26 e qualche frazione. Il fondo del pozzo non è stabile, ma in forma di ribalta, mobile intorno ad uno de' suoi lati sopra due gangheri, ai quali si attiene mediante due lunghe bandelle. Si apre e si chiude a guisa d'un trabocchetto, onde il veicolo ha preso il nome, per mezzo d'un vette situato su la coperta, e d'una intera di ferro, che partendo da un capo del vette scende ad afferrare l'altro lato della ribalta. Questa si tiene chiusa finchè il portafango è giunto al sito, ove la materia dev'essere scaricata, ed allora si apre per far uscir la materia, e quindi si chiude di bel nuovo e si riconduce il veicolo a ricevere un nuovo carico. Di simili trabocchetti se ne fanno anche dei più piccoli, che hanno il pozzo capace di contenere otto o dieci metri cubi di materia.

§. 894. Asserisce il Borgnis (1) che con sì fatti curaporti a ruote si può eseguire lo spurgo fino alla profondità di 10, ed anche di 15 metri; e che uno di tali puntoni con tutto il suo corredo costa fra 15 e 18 mille franchi, vale a dire fra 2793 e 3352 scudi romani. È poi facile a vedersi che le catene debbono essere allungate ed accorciate in proporzione della profondità a cui le cucchiaie debbono agire. In ordine alla quantità dell'effetto di questa sorta di macchine se ne potrà formare concetto da quanto riferisce il Belidor essersi osservato nell'uso del curaporti di Tolone da lui descritto (2), come abbiamo detto in addietro (§. 890). Nello spurgo d'un fondo fangoso, ovvero terroso la macchina era servita da un padrone, da tre soli marinari impiegati a girare la ruota maggiore, e da due mozzi intenti a muovere la piccola ruota. Quattro altri marinari erano addetti a guidare due portafango, ciascuno de' quali conteneva circa m. c. 5,500 di materia. Fu osservato che, facendosi lo spurgo sotto un'altezza d'acqua di circa m. 2, la materia che si estraeva era di m. c. 60 in 65 in una giornata d'estate, e di m. c. 44 in una giornata d'inverno; che quando l'acqua era alta sul fondo da spurgarsi 4 in 5 metri, la materia estratta in una giornata di estate era fra 45 e 50 metri cubi, e in una giornata d'inverno di soli m. c. 33; finalmente che quando l'altezza dell'acqua sul fondo era di 8 in 10 metri non si estraevano che m. c. 33 in 39 in una giornata estiva, e m. c. 22 in 28 in una giornata invernale.

§. 895. Affatto diverso è l'artificio del *curaporti a vite*, conosciuto dai Francesi sotto il nome di curaporti di Venezia, di cui veggonsi lo

(1) *Des machines employées dans les constructions diverses*. Lib. II cap. II.
(2) Nel luogo ultimamente citato.

spaccato longitudinale, ed il prospetto anteriore nelle fig. 431, 432. Intorno ad esso non faremo che ripetere la succinta, ma chiara relazione che n'è stata compilata dal Borgnis (1).

„ Un puntone parallelepipedo, coperto da un tetto, serve di ba-
„ se a codesta macchina galleggiante. La sua lunghezza è di m. 15,
„ la sua larghezza di m. 8, e la sua altezza fino all'origine del tetto
„ è di m. 4. Il suo interno è ordinato in guisa tale che può servire
„ d'abitazione agli operai. Il meccanismo consiste in un gran bilancie-
„ re *aa*, che ha il centro del suo movimento in *b*; esso è composto
„ di due membri uguali e paralleli, ed ha m. 15 di lunghezza, m. 1
„ di altezza, ed altrettanto di vano fra i due membri componen-
„ ti. Ciascheduno di questi è formato di cinque ordini di travi d'a-
„ bete congiunti per sovrapposizione, ed uniti per mezzo di staffe e
„ di chiavarde di ferro, e di mensole o beccatelli di legno. Il bi-
„ lanciere contiene nella sua estremità posteriore la madrevite *c*, ap-
„ poggiata su due perni orizzontali, per cui può essa concepire un movi-
„ mento rotatorio verticale, indipendente dal movimento del bilanciere.
„ Una vite *d* di legno d'olmo, avente m. 10 di lunghezza, ed m. 0,37
„ di diametro, entra in codesta madrevite. Il centro del suo movi-
„ mento è in *e*, ed ha la facoltà di descrivere un arco verticale, in-
„ tanto che ruota orizzontalmente. In grazia di questo doppio movi-
„ mento essa produce alternativamente l'elevazione e l'abbassamento
„ del bilanciere. A tale effetto il perno, sul quale essa si muove, è
„ doppio, vale a dire è composto d'un maschio verticale, che gira nel-
„ l'occhio d'una lastra disposta sopra due perni orizzontali, intorno ai
„ quali può rivolgersi, come vedesi rappresentato a parte in iscala mag-
„ giore alla lettera *X*; ed in oltre la madrevite *c* è anch'essa messa in
„ bilico sopra due perni orizzontali, conforme già avvertimmo, e co-
„ me si osserva separatamente in *Z*. L'estremità opposta del bilancie-
„ re *aa* regge la gran cucchiaia *fg* di ferro. Questa ha due parti: u-
„ na *f* piatta, la quale si mantiene costantemente in positura vertica-
„ le: l'altra *g* ha la forma d'un settore cilindrico. Una robusta chia-
„ varda *h* congiunge le due parti *f* e *g*, e serve nello stesso tempo
„ d'asse di rotazione al settore *g*, che è così disposto a concepire un
„ movimento rotatorio alternativo, per avvicinarsi alla parte piatta *f*, e
„ per allontanarsi da essa, come succede fra le due branche d'una ta-
„ naglia. Cotal movimento è prodotto dal giuoco alternativo de' due

(1) Nel luogo testè citato.

„ argani *l* situati nell'interno del puntone. Uno di essi mediante la
„ fune *mmm* apre la cucchiaia; l'altro per mezzo della fune *n n* la
„ chiude. „

§. 896 „ Per mettere in azione la macchina è d'uopo primieramen-
„ te di spingere a basso la cucchiaia, alzando per mezzo della vite
„ l'estremità opposta del bilanciere: in secondo luogo di far agi-
„ re uno dopo l'altro i due argani *l*: finalmente in terzo luogo di ti-
„ rar su la cucchiaia, girando la vite in senso opposto, come convie-
„ ne per abbassare l'estremità opposta del bilanciere. La prima ope-
„ razione fa penetrare nel fondo il coperchio *f* della cucchiaia; la
„ seconda schiude da principio la cucchiaia prima ch'essa giunga a
„ toccare il fondo: quindi, quando il coperchio *f* è penetrato nel fon-
„ do, la chiude tagliando e serrandovi dentro il terreno che vien rac-
„ colto dal settore cilindrico: in fine la terza trae fuori dell'acqua la
„ cucchiaia carica „ Allora si fa avanzare il portafango sotto la cuc-
chiaia, ed aprendola si fa scolare dentro il medesimo portafango la
materia estratta.

„ La cucchiaia, la quale vuota pesa oltre a 1500 chilogrammi,
„ diventa eccessivamente pesante quando è carica, talmente che for-
„ zerebbe la parte anteriore del puntone a pescare molto più della par-
„ te posteriore, se non si usasse la precauzione di caricare di sassi il
„ ponte *p p*. Ed in oltre il bilanciere *a a* sostiene una cassa *q q* ri-
„ piena anch'essa di sassi, che fanno contrappeso alla cucchiaia, on-
„ de minor forza si richiede per girar la vite, allorchè si deve alzar la
„ cucchiaia. „

„ Tre pali *ss*, *ss*, *ss*, scorrevoli dentro incastri verticali, sono di-
„ sposti due all'estremità anteriori de' fianchi, ed uno nel mezzo
„ della parte posteriore del puntone, e servono ad ancorare la mac-
„ china. Ciascuno di essi è sostenuto da una fune ravvolta ad un ver-
„ ricello *v*. Si fanno discendere con impeto, affinchè si ficchino nel
„ fondo tutte le volte che occorre di fermare la macchina; e quan-
„ do occorre di traslocarla, si sollevano i pali mediante i verricelli,
„ e si tengono sospesi finchè sia tempo di farli calar di bel nuovo „.

§. 897 „ L'effetto di codesta macchina, soggiugne il Borgnis, che
„ ordinariamente è tenuta in esercizio da otto persone, è di circa
„ m.c. 56 il giorno di materia cavata ad una profondità di quattro in
„ cinque metri. Accrescendo il numero degli operai si accresce pure
„ proporzionatamente l'effetto, talmente che con dodici uomini vigo-
„ gorosi si possono cavare m.c. 75 di fango in un giorno: e questo è
„ il massimo effetto che può conseguirsi con l'uso d'una tal macchi-
„ na. La cucchiaia può contenere m.c. 2,500 di materia; ma ben di

„ rado essa ne raccoglie una quantità maggiore di m. c. 1,500. Il tempo
„ medio che abbisogna per cavare una cucchiaiata di fango è di circa
„ 15 minuti. Succede rare volte che arrivi a cavare quaranta cucchiaiate in un giorno. Il curaporti a vite agisce molto bene nei fondi fangosi da due fino a sei metri d'altezza d'acqua; ma non è capace di produrre un effetto soddisfacente quando l'altezza dell'acqua è maggiore, nè quando il fondo è di materia compatta. I riferiti risultati sono dedotti dagli effetti che si sono ottenuti con l'impiego di otto curaporti a vite pel corso di tre anni consecutivi nella laguna di Venezia, dall'arsenale sino al passo di Malamocco. La costruzione, e tutto il corredo d'ognuna di quelle macchine, costò più di 20000 franchi, equivalenti a scudi romani 3724 in circa. „

§. 898. Dai premessi ragguagli si raccoglie che il curaporti a vite, tanto relativamente all'altezza dell'acqua sul fondo da spurgarsi, quanto a riguardo della qualità della materia, che si deve cavare, ha un'attitudine notabilmente minore di quella del curaporti a ruote. Si aggiunga che nel curaporti a vite, per la condizione del suo meccanismo, l'attrito è necessariamente assai grande; che il bilanciere, sebbene di massiccia e solida struttura, tuttavia difficilmente va esente da qualche incurvamento, e perdendo la regolarità della sua forma, stringe irregolarmente, e tormenta la vite, ed accresce non poco la resistenza dell'attrito; finalmente che frequentissimi sono i bisogni di riparazioni ora in una, ora in un'altra parte della macchina, e che tali riparazioni, atteso la mole dei membri, che debbonsi scomporre e maneggiare, riescono per lo più di lunga e disagevole esecuzione. Ma quando si tratta di dovere spurgare un fondo fangoso, sul quale l'altezza dell'acqua non sia che di quattro o cinque metri al più, il curaporti a vite è tuttavia più vantaggioso di quello a ruote, perchè l'effetto del primo è d'un quinto maggiore di quello, che in simili circostanze si può ottener col secondo; perchè di più nel primo si ha una maggior facilità di movimento, ed un minor consumo di cordame; finalmente perchè in esso gli operai sono obbligati ad un esercizio meno penoso, e meno pericoloso (§. 384), ed agiscono in oltre al coperto, difesi dall'intemperie: come lo è pure la maggior parte del meccanismo, che perciò più lungamente si conserva esente d'alterazioni.

§. 899. Ove le circostanze non permettono di apprestare, o di mettere in uso i grandi curaporti, di cui abbiamo parlato, si approfitta di alcuni apparati effossori di maggior semplicità. Questi in sostanza si riducono tutti all'impiego di grandi cucchiaie regolate a mano, e mosse col sussidio di qualche opportuno meccanismo. Nella fig. 433 è rappresentato un apparato di questo genere usitato nei porti degli stati romani. All'albero

*aa* d'un navicello *NN* è appeso il manico *mm* d'una cucchiaia, *C*, la quale così può facilmente essere calata ed alzata, e messa al giustopunto, secondo l'altezza dell'acqua sul fondo, che dev'essere spurgato. Maneggiando opportunamente il manico della cucchiaia, penetra essa nel fondo, e si riempie di materia. Allora viene alzata mediante un apparato elevatorio, che è una specie di grue, eretto su d'una zattera *zzz*, ed è conosciuto dai nostri marinai sotto la denominazione di *gatta*. La fune *ff* è quella per cui viene tirata in alto la cucchiaia, quando si gira opportunamente la barbera della gatta, il di cui organo ricevitore (§. 792) è una ruota a piroli *rrr*. L'alzamento della cucchiaia vien pure secondato, se occorre, da quello del manico, il quale mercè la troclea *t*, situata alla cima dell'albero del navicello, su cui si ripiega la fune sostenitrice *oo*, può agevolmente, come si disse, esser calato e tirato su giusta il bisogno. Portata la cucchiaia a giusta altezza, si conduce sotto di essa il portafango, si slaccia la legatura che teneva chiuso il fondo della borsa a rete, la quale costituisce il recipiente della cucchiaia, e così le materie raccolte precipitano nel sottoposto portafango.

Un altro apparato da spurghi, che pure è in uso nei nostri porti, consiste in un grosso portafango a trabocchetto (§. 896), cui si dà il nome di betta, guernito di varie antenne nell'uno e nell'altro de' suoi bordi, cui corrispondono altrettante conocchie (§. 832) fermate stabilmente sulla coperta. Allogata opportunamente e saldamente la betta, si pongono in azione intorno ad essa le cucchiaie, trattate a mano da operai montati sopra robuste zattere. Ciascheduna cucchiaia è attaccata ad una fune, che passa sul bozzello d'una delle antenne laterali della betta, e va a far capo alla corrispondente conocchia. Quando la cucchiaia è piena si tira su, mettendo opportunamente in azione la conocchia, ed allorchè è arrivata alla conveniente altezza si spinge verso il pozzo della betta, e quivi si capovolge e si scarica. Tosto che il pozzo è ripieno, si distaccano le cucchiaie dalle vette delle rispettive antenne, e si guida la betta a scaricar la materia in mare ne' punti destinati, e quindi si riconduce in porto, e si ripiglia l'operazione.

Per altro codesti processi sono generalmente d'un effetto più lento e più costoso de' curaporti a ruote, ed a vite, e non se ne può approvare l'uso se non che in quei casi, ne' quali l'angustia o altre circostanze del sito, ove si deve effettuare lo spurgo, non concedono di potervi impiegare i prefati grandi curaporti.

§. 900. Qualunque sia lo scopo d'uno spurgo, di mano in mano che si va progredendo nell'operazione è necessario d'esplorare la profondità dell'acqua sul fondo, per poter conoscere quando questo, per la progressiva estrazione delle materie, si è abbassato quanto si richiede,

a fine di desistere dallo spurgo in quei punti, nei quali si è conseguita la prefissa profondità, e continuare negli altri punti, finchè è necessario. Questa esplorazione è quella che dicesi *scandagliare* il fondo, e gli strumenti, mediante i quali si eseguisce, chiamansi *scandagli*. Ma si dà pure il nome di *scandaglio* a ciascuna effettiva e distinta esplorazione. Lo strumento più semplice e più adattato per iscandagliare la profondità dell'acqua in qualsivoglia ricettacolo consiste in un'asta lunga e dritta di legno, che ha un'estremità saldata in un disco di pietra, e sulla quale, cominciando dalla detta estremità, sono progressivamente segnate l'unità metriche, e le frazioni di esse. S'immerge quest'asta nell'acqua mandando avanti la pietra, che le serve di contrappeso, finchè questo giunga a toccare il fondo, ed avendo cura che l'asta si fermi in positura verticale, si legge nella di lei graduazione quant'è l'altezza dell'acqua sul fondo nel punto dell'osservazione. Quando poi gli scandagli debbono eseguirsi in molta profondità d'acqua, si fa uso d'una fune, ovvero d'una catena, che in una estremità porta appesa una palla di ferro, ovvero un pesante sasso. E di sì fatti scandagli riesce più comodo e più spedito l'uso, se nella fune, o catena sieno notate almeno l'unità metriche a partire dal contrappeso, per mezzo di nodi, di piccoli globi, o di qualsivoglia altra sorta di contrassegni.

§. 901. Ove si tratti di dovere scandagliare il fondo come suol dirsi a palmo a palmo fra due file parallele di pali, come spesso accade nelle fondazioni d'edifizi idraulici, si può adoperare un metodo semplice, ed insieme di sicuro effetto, ad imitazione di quanto praticò il de Cessart nella fondazione della più volte mentovata chiusa di Dieppe (1). Si apparecchi un telaio rettangolare di legno, composto di due ritti *a a*, *a a* (fig. 434.): d'una traversa inferiore *b b*, di lunghezza uguale alla distanza ch'esiste fra le due file di pali, dentro le quali è proposto di scandagliare il fondo: e d'una traversa superiore *c c* di lunghezza alquanto maggiore, onde sporga alcun poco da una parte e dall'altra fuori de' ritti. Sotto la traversa inferiore sia chiodata una tavola di qualche larghezza; ed ai piedi dei ritti sieno infilate due ruotelle *r*, *r* di piombo, pel peso delle quali il telaio si trovi zavorrato, talmente che abbandonato a se stesso nell'acqua tenda ad accostarsi al fondo con la sua traversa inferiore, e a disporsi co' suoi ritti in un piano verticale. Facendo scorrere sì fatto telaio sempre parallelamente a se stesso fra le due file di pali, in guisa che il piano di esso si mantenga perpendicolare alla direzione di quelle,

(1) *Description des travaux hydrauliques de L. A. de Cessart*. Tomo II sez. I art. VIII.

si verrà a conoscere in ogni punto se il fondo è scavato alla prescritta profondità, o se, e quanto fa d'uopo di spinger oltre lo spurgo, solo che siasi stabilita la traversa superiore a tal distanza dall' infima base del telaio, che uguagli la profondità, cui è destinato che debba essere ridotto il fondo sotto il dorso degli architravi o cappelli, dai quali sono orizzontalmente coronate la file dei pali (§. 407), e che si misuri volta per volta a ciascuna stazione del telaio qual distanza passi fra la traversa superiore, ed il piano di sopra de' cappelli medesimi.

§ 902. Ma con questo metodo di scandagliare si scopre bensì se in qualche tratto dello spazio compreso fra due file prossime di pali sia necessario di approfondar maggiormente lo spurgo, ma non già se in qualche parte la superficie del fondo sia più bassa del dovere, e quindi sia d'uopo di versarvi sopra qualche quantità di terra, affinchè il fondo si riduca ad un perfetto piano di livello, le quante volte questa condizione sia essenziale, corrispondentemente al sistema di fondazione, che si è riconosciuto conveniente di adottare. Nell'occasione della fondazione della stessa chiusa di Dieppe, dopo che per mezzo del telaio testè descritto erasi acquistata la certezza che in nessun punto del fondo esisteva più alcuna prominenza che sorpassasse quel piano orizzontale, al quale era prescritto che dovesse essere conguagliata la sua superficie, a fine di colmare quelle cavità, che potevano pure esistere sotto il detto piano, ed ottenere il divisato perfetto conguagliamento del suolo della fondazione, si mise in uso un altro ingegnoso artificio, che merita di essere addotto in esempio (1). Si costruì una tramoggia (fig. 455) di altezza tale che appoggiandosi, come si vedrà, le sue stanghe superiori *aa*, *aa* sui cappelli orizzontali delle due file provvisionali di pali, fra le quali si voleva effettuare il conguagliamento del fondo, le facce inferiori dell'infime traverse *tt* giacessero in un piano orizzontale elevato di otto centimetri sulle più alte prominenze del fondo. La luce della bocca superiore della tramoggia era lunga m. 1,95, larga m. 2,16. La luce inferiore era parimenti lunga m. 1,95, ma larga soli 54 millimetri. Corrispondentemente alla prefata condizione l'altezza del tramoggia si dovette fissare, nelle particolari circostanze del caso, a cui fu destinata dal de Cessart, di m. 6,33. Codesto apparato veniva disposto fra le due file di pali, appoggiandosi le stanghe *aa*, *aa* su di un carriuolo giacente sui cappelli delle file medesime, ed atto a scorrere per lungo sopra di essi; così che la tramoggia avesse uno dei suoi fianchi adiacenti ad una

(1) *Ibidem*

delle file di pali, nella qual situazione occupava la metà della larghezza dell'interposto intervallo. Nel vacuo della tramoggia si versava allora della ghiaia, già passata per un vaglio, o ramata, le di cui maglie avevano m. 0,054 di vano, e che per entrare nella tramoggia doveva traversare un altro vaglio uguale posto alla bocca della tramoggia stessa; e tanta se ne infondeva che riempiesse il recipiente fino ad un'altezza di m. 1,50 sullo sbocco inferiore. La ghiaia doveva così necessariamente uscire di sotto pel vano esistente fra le traverse *tt*, laonde imprimendosi un lento movimento progressivo alla macchina si venivano a colmare tutte le cavità del fondo, e si riduceva a poco a poco la superficie di questo a livello delle medesime traverse *tt*. A mano a mano che scemava la ghiaia dentro la tramoggia se ne veniva infondendo dell'altra, ed affinchè apparisse ove il calo succedesse maggiore, dipendentemente dalla maggior bassezza del fondo, e si potesse in ogni punto proporzionare l'alimento di nuova ghiaia alla quantità, che ivi ne veniva assorbita dal fondo, si erano disposte dentro la tramoggia dell'aste verticali *s, s, s, s*, piombate nelle loro estremità inferiori, che si appoggiavano sulla superficie superiore dell'interno ammasso di ghiaia, e quindi la maggiore o minor discesa della sommità di tali aste dava sicuro indizio del decrescimento interno della ghiaia ne' vari punti, cui esse corrispondevano. Allorchè con questa operazione si era percorso interamente l'uno dei fianchi dell'intervallo rettangolare compreso fra le due file di pali, si portava, e si disponeva la tramoggia sull'altro fianco, e quivi si faceva scorrere ripetendo l'operazione, onde compiere nel detto intervallo il pareggiamento del fondo.

§. 903. L'uso della macchina a gerle (§. 887), combinato con quello dell'anzidetto scandaglio a telaio (§. 901), e susseguito dall'impiego della testè descritta tramoggia, furono i mezzi di cui si valse l'illustre costruttore della chiesa di Dieppe, per ridurre a perfetto conguagliamento, malgrado l'acque da cui era inondato, il fondo sul quale dovevasi ergere quel rinomato edificio. E sensatamente osserva il Gauthey (1) che il metodo tenuto dal de Cessart era forse l'unico, che potesse convenire, trattandosi di un fondo composto di ghiaia in certo tal modo tenacemente agglutinata dal fango, e dalla sabbia del mare. Potrebbe lo stesso metodo essere parimenti adottato pel conguagliamento di un fondo di materia arenosa; ma la scioltezza, e la mobilità di sì fatte materie ammettono dei processi più semplici, e più spediti. Si può addurre in

---

(1) *Construction des ponts*. Lib. IV cap. II sez. III

esempio il metodo, che fu adoperato dal Regemortes nella fondazione del ponte di Moulins, dove appunto si presentava da conguagliarsi a livello un fondo di sua natura arenoso, e dove con una stessa macchina di semplicissimo artifizio si radevano nello stesso tempo le prominenze, e si colmavano le cavità del terreno, destinato a reggere i fondamenti dell'edifizio (1). Codesta macchina era sostenuta da una barchetta, sulla quale erano disposte trasversalmente le due coppie di membri orizzontali *aa*, *aa*, (fig. 436), che abbracciano in forma di *guide* i ritti *dd*, *dd*, collegati dalla traversa orizzontale *hh*, all'estremità inferiore de'quali era saldamente connessa una tavola *kk* guarnita d'una lama tagliente di ferro nel suo lembo inferiore. La traversa *hh* era appoggiata ad un dado *gg*, contenente due madreviti, che ricevevano i fusi de' due arganetti a vite *ee*, *ee*. All'estremità inferiori de' ritti *dd*, *dd* erano infissi due anelli di ferro *m*, *m*, ai quali erano attaccate due funi, che si riunivano poi in un solo capo, come vedesi in *f*. Per mettere in atto codesta macchina si disponeva la barchetta lungo uno dei lati dello spazio, dentro cui doveva eseguirsi il conguagliamento del fondo, e si metteva a livello la tavola o *pala mm*, il che si conseguiva con l'opportuno maneggio degli arganetti a vite *ee*, *ee*, e con la scorta delle graduazioni metriche impresse sulle facce de' ritti *dd*, *dd*, procurando, che la pala stessa penetrasse nel fondo quanto più addentro era possibile: non mai però oltre quella profondità, che segnava il piano orizzontale, a cui era fissato dovesse conguagliarsi la superficie della fondazione. Si faceva allora camminare la barchetta, tirando la fune *f* per mezzo di un verrocchio opportunamente situato, e così la pala nel suo movimento portava con se la sabbia, che se le parava dinanzi: la quale naturalmente andava a colmare i bassi, sui quali passava la macchina, e il di più lo accumulava nel mezzo del recinto dell'operazione, d'onde era poi tratto con l'impiego d'altre opportune macchine effossorie. Se talvolta accadeva, che troppa materia stasse a fronte della pala, e si opponesse al suo regolare avanzamento, il che si conosceva dall'inclinarsi della barchetta dalla parte di dietro, non si aveva che a rialzare i ritti quanto fosse sufficiente per poter continuare regolarmente l'operazione.

L'apparato di cui si valse il Lamandé nelle fondazioni del ponte d'Austerlitz, del quale abbiamo dato in addietro una succinta descrizione, (§. 889) produce anch'esso, come si vide, il doppio effetto di

(1) *Description du pont de Moulins* pag. 22.

radere le prominenze, e di colmare le cavità del fondo, per ridurne la superficie ad un perfetto piano di livello.

§. 904 Nell'occorrenze di formar delle ture fondali, di cui si parlò nel precedente libro (§. 410), dopo che si è conguagliato il fondo a livello alla conveniente profondità, è d'uopo di coprirne la superficie con uno strato di buona terra, il quale importa che riesca per tutto di grossezza perfettamente uguale. Alla regolare disposizione di tale strato osterebbe la presenza dell'acqua, se non si avesse ricorso ad opportuni ripieghi. Quando il caso non sia di somma delicatezza vien suggerito dal Gauthey (1) il semplice espediente di stendere sui cappelli del ponte di servizio delle tavole, tutte d'una medesima larghezza, poste a contatto l'una dall'altra: di cuoprirla con un suolo di terra d'altezza uniforme: e di versar quindi questa terra rovesciando le tavole ad una ad una, avendo cura di far ciò con ordine, e senza confusione. Ma nei casi di maggior importanza vuolsi più scrupolosamente mirare alla perfezione del divisato effetto, e conviene appigliarsi a più sicuri temperamenti. Si potrà prendere esempio da quanto fu praticato per sì fatto scopo dal Regemortes nella costruzione del ponte di Moulins (2), e posteriormente imitato dal de Cessart per turare internamente il fondo del cassone, in cui furono gittati i fondamenti della chiusa di Dieppe (3). Il Regemortes adoprò un'ingegnosa macchina, di cui la fig. 437 dimostra la sezione per lungo, e la fig. 438 la sezione per traverso. La parte a destra dell'una e dell'altra di tali figure rappresenta lo stato, in cui si trova il meccanismo nell'atto che deve disporvisi sopra la terra: la quale riempie i vani compresi fra le assicelle oblique $c, c, c, \ldots$, chiusi nel fondo dalle valvole a cerniera $e, e, e, \ldots$, che sono tenute chiuse in positura orizzontale dalla stanga inferiore $aa$, sostenuta dal vette $v$, finchè questo si tiene fermo in posizione inclinata. Quando poi si vuole spandere la terra sul fondo sottoposto, sul quale deve formarsi la tura, è d'uopo di sciogliere il vette $v$, ed allora il peso della terra, che gravita sulle valvole $e, e, e, \ldots$, le spinge a basso, e con esse la stanga $aa$, cui tien dietro il vette $v$ reso libero, e prende una posizione verticale, onde le cose si dispongono in quello stato, che rappresentasi dal lato sinistro delle figure; e quindi la terra non più sostenuta cade al fondo, e ne ricuopre la superficie formandovi sopra un strato uniforme, in cui però rimangono dei solchi in corrispondenza dell'assicelle

(1) *Construction des ponts* - Lib. IV cap. II sez. IV.
(2) *Description du pont de Moulins* - *Pag.* 26.
(3) *Description des travaux hydrauliques de de Cessart* - Tom. II sez. II artc. VIII.

*c*, *c*, *c*, . . . . , che interrompevano lo strato di terra depositato sulla macchina. Perchè si riempiano questi solchi basta di montar di bel nuovo la macchina, come si rappresenta nei lati destri delle figure, dopo di aver trasferito avanti la macchina stessa d'uno spazio uguale alla metà di quello ch'esiste fra due assicelle contigue, di caricarla nuovamente di terra, e di scaricarla quindi in codesta sua nuova situazione. I membri *b*, *b*, sono fissi, e possono essere appoggiati sui bordi di due battelli, ovvero sui cappelli de'ponti di servizio; ed in questo secondo caso potrebbero, come osserva il Gauthey (1), essere guarniti di rulli, onde agevolare il movimento della macchina per trasportarla ne' vari punti, ove n'occorre l'impiego.

Una macchina di consimile artifizio fu adoperata alla chiusa di Dieppe; ove per altro le valvole, invece di essere a cerniera, giravano intorno a due perni orizzontali, posti alle loro estremità, e si aprivano e si chiudevano col giuoco d'una spagnoletta, somigliante a quelle che sogliono opporsi talvolta per serrature all'imposte delle finestre. Codesta modificazione rende forse il meccanismo capace d'un più rigoroso effetto, e può essere opportuna massimamente quando deve formarsi uno strato di terra di poca grossezza.

§. 905. Non sarà fuor di luogo il dare per ultimo in questo capitolo qualche nozione di una macchina effossoria, lo scopo della quale è semplicemente di smuovere il fondo de' canali di navigazione, o di scolo, per estirpare le piante acquatiche cresciutevi, le quali ritardano la velocità dell'acqua, ed impediscono il corso alle barche. Questa macchina è comunemente nota sotto il nome di *cilindro*, corrispondentemente alla forma del principale de' suoi organi componenti, che è effettivamente un fusto cilindrico, lungo circa m. 3,57, ed avente di diametro m. 0,45, di qualche specie di legno forte come sarebbe d'elce, di cerro, o di sovero. Codesto cilindro va guarnito all'intorno di aguzze pale di ferro, disposte su d'una linea spirale descritta sulla superficie cilindrica, e ciascuna di esse giace in un piano, che passa per l'asse del fusto. Sporgono dalle due estremità dell'asse stesso due perni di ferro, introdotti nei corrispondenti occhi, che sono attaccati all'estremità di due catene d'uguale lunghezza, le quali hanno i loro capi raccomandati ai fianchi d'una barca, destinata a tirare dietro di se il descritto apparato. Ed è chiaro che facendo muovere la barca lungo il canale, il cilindro costretto a seguirla ruoterà sul fondo del canale, che verrà penetrato e sconvolto dalle pale, dalle quali il cilindro è contornato; onde

---

(1) Nel luogo ultimamente citato.

ne seguirà la ricercata estirpazione delle piante, che ingombravano l'alveo. Di sì fatti cilindri si fa uso per nettare dall'erbe i fiumi, e i canali della vasta bonificazione pontina; dove le barche, cui sono raccomandate tali macchine, si fanno avanzare a forza di bufali, di cui se ne attaccano ad esse infino a sette paia, facendoli camminare sulle strade formate a tal uopo sulle laterali ripe (1).

§. 906. Havvi altre macchine destinate non all'estirpazione, ma bensì al taglio delle piante palustri, che crescono nei canali d'acque dolci. Ma di queste non si dovrebbe far uso se non che in quei casi, che non ammettono l'impiego del cilindro, sia per la mancanza di strade laterali praticabili dagli animali, la di cui opera è necessaria per tirare la barca e l'apparato meccanico, che ad essa va congiunto: sia per qualsivoglia altra cagione. Ma quando niuna causa si oppone all'uso del cilindro esso dev'essere anteposto alle *falci*, che così son chiamati quegli strumenti, i quali sono atti non ad estirpare, ma a recidere l'erbe negli alvei de' canali; atteso che con l'estirpazione si ha un effetto più completo e più durevole di quello, che si ottiene con la semplice recisione, la quale non sempre giunge a sgomberare il canale fino al fondo; e non molestando le radici delle piante, queste in breve tempo ripullulano, e crescono di bel nuovo. Le falci usitate ne' canali della prefata bonificazione pontina non sono, che semplici lame di ferro della lunghezza di circa m. 3,35, alquanto ricurve, taglienti dal lato concavo, ed aventi un occhio in ciascuna estremità. Questi occhi servono ad attaccarvi due funi, le quali vengono imbrandite dagli uomini destinati ad eseguire l'operazione, i quali sono distribuiti ai due capi di esse funi, tenuti uno sull'una l'altro sull'altro delle due sponde del canale, mentre la falce giace sommersa nel fondo del canale medesimo. Le due funi sono così alternativamente tirate a colpi vibrati dagli operai, che rispettivamente vi sono addetti, e la falce investendo con impeto a ciascuno de' tali colpi le piante, che se le offrono dinanzi, le viene a mano a mano recidendo. Ma quantunque codeste falci sieno d'un uso più semplice, e più spedito dei cilindri, e sieno meno soggette a guastarsi, tuttavia questi, per la già avvertita loro maggiore efficacia, si preferiscono sempre per massima a quelle ne' canali pontini, quando le laterali sponde offrono strade praticabili per la marcia regolare de' bufali. (2)

§. 907. L'impiego de' cilindri e delle falci semplici, di cui abbiam

---

(1) Nicolai - *De' bonificamenti delle terre pontine.* Roma. 1800 lib. IV. cap. XIV.
(2) *Ibidem*.

dato conto, riesce impraticabile, o di pochissimo effetto ne' canali di sezione assai ampia. La fig. 439 rappresenta una macchina, inventata dal Bettancourt, e premiata dalla società d'incoraggiamento di Londra, per mezzo della quale si può eseguire il taglio delle piante acquatiche a qualsivoglia distanza dalle sponde d'un canale, o d'uno stagno. La macchina va unita ad un'ordinaria barchetta, ed il suo organo operatore è una falce a due lame, ordinata ad agire con un movimento rotatorio in un piano orizzontale, ovvero in un piano inclinato. Le due lame sono disposte una incontro all'altra intorno ad una ruota, come si può vedere in $X$. Il movimento rotatorio di codesta ruota succede intorno all'asse d'un gambo $cc$, che è infilato ne' due occhi $x$, $x$, e riceve il movimento per l'azione, che la forza motrice esercita sulla manovella $a$, e per l'ingranaggio delle due ruote dentate coniche $m$, $n$, la prima delle quali è annessa all'asse della manovella, e la seconda è situata verso la sommità dell'albero o gambo della falce. Il gambo $cc$ potendo scorrere su e giù dentro gli occhi $x$, $x$, va arrestato in quella elevazione, che è necessaria perchè la ruota falcata $gg$ si trovi presso il fondo del canale, che vuolsi ripulire dalle canne, ed altre piante palustri. Il meccanismo può in oltre ruotare verticalmente intorno ad un asse esistente in $p$, ed essere così adattato a far agire le falci parallelamente ad una sponda comunque inclinata, come vedesi rappresentato in $Z$. Il segmento ricurvo $y$ a dentatura interna è destinato a facilitare codesto movimento rotatorio verticale del meccanismo.

Intorno a codesta macchina non possiamo offerire se non che questi semplici ragguagli forniti dal Borgnis (1), il quale del resto non ci fa noto se effettivamente sia essa stata messa a prova. Per lo che dobbiamo sospendere il nostro giudizio sull'effetto che potrebbe sperarsene, inclinando piuttosto a dubitare, che trattandosi d'un'azione destinata ad incontrare una resistenza incostante ed irregolare, poco siano confacenti gli organi costituenti la macchina di cui si tratta, e la disposizione di essi, e che quindi una tal macchina avesse ad andar soggetta a frequenti sconcerti, e non potesse produrre che un effetto oltremodo lento, ed insufficiente.

---

(1) *Des machines employées dans les constructions diverses* - Lib. II cap. II.

## CAPO VI.

### *Dell' espulsione dell' acqua dai cavi e dai recinti a stagno, per le fondazioni murali.*

§. 908. Molte sono le macchine, per mezzo delle quali può essere attinta l'acqua a qualsivoglia recipiente, in cui sia contenuta, ed essere elevata a più o meno altezza sul livello dello stesso recipiente; delle quali alcune sono d'antichissima invenzione. Sebbene la cognizione generale di codeste macchine, e l'arte d'impiegarle proficuamente nei vari bisogni del nome, e della civile società, direttamente appartengano all'architettura, tuttavia il presente nostro scopo è semplicemente di considerarle in qualità di mezzi adattati ad aggottare, cioè rendere asciutte le fosse dove debbono essere piantati i fondamenti delle fabbriche, ovvero que' recinti a stagno, ne' quali debbono esser costrutte le murali sostruzioni (§. 579) degli edifici idraulici. Gli organi finali di questa sorta di macchine sono tutti essenzialmente nella classe degli operatori per traslazione (§. 792), e nel sistema del Borgnis ne costituiscono il genere secondo, distinti in sei specie, cioè 1.° secchie, ed altri vasi, e strumenti, che alzano l'acqua per un effettivo trasporto, 2°. trombe aspiranti, prementi, e miste, 3°. fontane a compressione d'aria, come quella di Erone, 4°. sifoni, 5°. macchine a colonna d'acqua, 6°. arieti idraulici. E questa è altresì la classazione che pare più confacente e più comoda per potersi adottare, conforme praticò lo stesso Borgnis (1) nella categorica trattazione delle macchine aventi per fine l'alzamento dell'acqua, distinguendo poi le varietà comprese in ciascuna specie, dipendentemente dalle qualità, e dalla disposizione degli organi iniziali, che ricevono, degli intermedi, che trasmettono, e modificano, e regol no l'azione della forza motrice, affinchè si trasfonda nell'organo inale in modo confacente alla produzione d'un regolare effetto. Per l' spulsione dell'acqua dalle fosse, e dai recinti nell' occorrenza delle fondamentali costruzioni degli edifici la pratica non impiega altre macchine idrovore, che quelle componenti la prima, e la seconda delle prenominate specie, cioè le macchine atte ad elevar l'acqua per un effettivo trasporto, e le trombe idrauliche, atteso che le macchine appartenenti all'altre quattro specie mancano di quella semplicità, e di quella stabilità, nè sono capaci di quel sollecito, e copioso effetto, di cui fa d'uopo nelle motivate occorrenze dell'arte edificatoria.

---

(1) *Des machines hydrauliques* - Lib. I.

§. 909. Nè tutte le varietà abbracciate dall'anzidette due specie di macchine idrovore sono adattate all'uopo di cacciar l'acqua dai cavi, e dai bacini destinati a ricevere le parti fondamentali o basamentali dei muri. Talune di esse esigerebbero per esser costrutte, ed ammannite una spesa sproporzionata alla brevità del servizio per cui debbono per solito adoperarsi nell'occasioni di cui parliamo; altre sono di volume e di forma mal corrispondente alle ristrettezze ordinarie del sito assegnato in simili casi per l'esecuzione delle manovre; alcune sono malagevoli ad essere traslocate ed accomodate alle varie circostanze de'diversi luoghi in cui occorre di farle successivamente agire; talune altre finalmente non sono atte a produrre un pronto e copioso effetto, quale si richiede per lo più per equiparar la portata di perenni sorgenti, che scaturiscono dal fondo, e dalle sponde del recipiente, che vuolsi tenere asciutto. Le macchine idrovore della prima specie, o sia ad effettivo trasporto, delle quali nel caso nostro si può convenientemente far uso, sono le seguenti 1.° *Le secchie* ed altri somiglianti vasi, o strumenti d'altra forma da adoperarsi a mano, senza il sussidio d'alcun meccanismo. 2°. Gli *altaleni idraulici*. 3°. La macchina denominata *noria*. 4°. *I bindoli idraulici*, ossia macchine *a cappelletti*. 5. Le ruote o *timpani idrovori*. 6.° Le *coclee idrovore*.

Non è d'uopo di rammentare le sostanziali differenze, per cui si distinguono le varie sorte di trombe idrovore, ben note a coloro, che hanno compinto il corso delle fisiche, e dell'idrauliche discipline (1). E troppo sarebbe di volerci impegnare a descrivere le moltiplici varietà di tali trombe, delle quali le più semplici son quelle, che più si confanno alle operazioni di cui ora parliamo, e fra le altre suol essere a preferenza adoperata dai costruttori l'ordinaria tromba aspirante, cui i francesi chiamano *tromba a guaina* (*pompe a fourreau*), la quale avendo la *camera*, o sia il tubo in cui succede l'ascensione dell'acqua in protrazione del tubo d'aspirazione, è sopra ogn'altra semplice, maneggevole, e adattabile a' recipienti angusti, e profondi (2).

Considereremo ora distintamente ciascuna dell'enumerate varietà di macchine idrovore, atte ad esser impiegate nell'occorrenze delle costruzioni, spiegandone succintamente l'artificio, e la struttura, deducendo da accreditate sperienze la quantità dell'effetto, che può ottenersene, paragonando questa con la quantità della forza necessaria a tenerle in azione, ricavandone la spesa effettiva, che si richiede per conseguire

---

(1) Venturoli - Vol. II. lib. V cap. I e seg.
(2) Hachette - *Traité elementaire des machines* - Cap. I §. 260.

una stessa quantità d'effetto con ciascuna di esse macchine; da che potremo poi inferire quale vantaggio o discapito sia per risultare, in ordine all'economia della spesa, dal presciegliere ne' casi particolari in parità di condizioni piuttosto una che qualsivoglia altra delle macchine stesse. Oltre di che non lasceremo d'avvertire quelle particolarità, le quali talvolta ne' casi pratici possono dar motivo ad escludere alcune macchine a confronto di talune altre, con tutto che si vegga che con l'uso delle prime l'operazione verrebbe a costare di meno, che con l'impiego delle seconde.

§. 910. Si può cavar l'acqua a mano dalle fosse, e dai recinti di costruzione per mezzo di secchie di metallo, di bigoncie, o di bugliuoli di legno, di cesti di vimini, ovvero di cucchiaie di legno, che diconsi *gotazze*. L'uso di questi vari strumenti a mano non è per altro applicabile se non che a' quei casi, nei quali si tratta di sollevare l'acqua ad un'altezza non maggiore di m. 1,50, o di m. 2 al più. Le secchie di metallo sono di rame, o di latta, hanno il manico di ferro, e sono ordinariamente cilindriche. Le bigonce, ed i bugliuoli sono formati di doghe riunite intorno ad un disco di legno, che costituisce il fondo del vaso, e strette dai vari cerchi di legno, o di ferro; ed hanno comunemente la forma di un tronco di cono, essendo però ben tenue la differenza dei diametri delle due basi. Quando si fa uso di secchie, o di bugliuoli, ognuno di tali vasi è maneggiato da una sola persona, la bigoncia è maneggiata da due uomini. Così pure i cesti di vimini a due manichi, dei quali, per quanto ne fa sapere il Borgnis (1), si fa vantaggiosamente uso a Venezia, quando si tratta di aggottare dei recipienti, le di cui sponde non si elevano più di m. 1,95 a dir molto sul pelo dell'acqua contenuta. Havvi anche delle secchie di vimini incamiciate internamente di cuoio, come si usano in qualche luogo per l'estinzione degl'incendi. Le gotazze altro non sono, come già si disse, che cucchiaie di legno, aventi un manico dritto, come si vede nella fig. 440. Stavvene delle piccole a breve manico, dette *gotazzuole*, ed in vernacolo veneto *sessole*, di cui è communissimo l'uso nella marina. In tutti questi organi si richiede solidità, e leggerezza; e deve curarsi che si accoppino in essi codeste due qualità con la più economica struttura. Al agevolare il maneggio delle gotazze si pratica talvolta di sospenderle pel manico alla cima di un castello piramidale, composto di tre pertiche fitte in terra, ed aventi le loro sommità riunite mediante una stretta

---

(1) *Des machines hydrauliques*. Lib. I cap. I.

legatura. Per tale disposizione, che vedesi rappresentata nella fig. 44, si ottiene quell'apparato, cui i francesi conoscono sotto la denominazione di *hollandaise*.

§. 911. Quanto all'impiego delle gotazze a mano non conosciamo alcuna sperienza, da cui possa dedursi l'effetto verisimile, che può essere prodotto in un dato periodo di tempo da un uomo occupato ad aggottare qualche recipiente per mezzo d'uno strumento di così fatta. Nell'uso della gotazza a castello, afferma il Belidor (1), che l'effetto giornaliero d'una di tali macchine tenuta in azione da uno, e per lo più anzi da due uomini, non può esser maggiore di m. c. 185 d'acqua elevati all'altezza di m. 1,30. Per ciò che riguarda l'effetto conseguibile con le secchie, e con altri somiglianti vasi, possiamo prender lume dai risultati ottenuti nella fondazione del ponte d'Orleans coll'uso di così fatti strumenti; risultati che il Perronet ebbe cura di registrare (2), e dai quali il Gauthey (3) potè dedurre un dato medio, per valutare la quantità d'acqua, che un uomo è capace d'estrarre in un tempo dato con la semplice manovra delle secchie, o d'altri ordigni della stessa fatta. Il medio dei risultati si è che un uomo, lavorando dodici ore delle ventiquattro che compongono la giornata, può cavare m. c. 46 d'acqua, supponendo che questa debba essere alzata un metro sul pelo del recipiente, da cui vien estratta. Invero si calcola che l'azione effettiva dell'uomo nella manovra di cui parliamo sia tale, che corrisponda all'effetto di m. c. 70 d'acqua elevati ad un metro d'altezza; ma in realtà l'effetto utile si riduce poi a soli m. c. 46, atteso la forza che si consuma e per affondare il vaso vuoto nell'acqua, e per alzare il peso proprio dello stesso vaso, e per capovolgerlo, quando si vuol vuotare; ed in grazia altresì della non piccola quantità di fluido, che esce dal vaso, e ricade nel recipiente, nell'atto che si volta la secchia per vuotarla. Si scorge per altro quanto piccolo sia l'effetto della forza umana applicata a questa specie d'azione, giacchè stando pure alla totalità dei 70 metri cubi d'acqua elevati in un giorno all'altezza d'un metro, sarà l'effetto giornaliero espresso da 70000, valore che sta al di sotto di quanti ne sono stati dedotti dell'esperienza, per esprimere l'effetto utile della forza dell'uomo applicata ad esercizi d'altro genere (4). Ad ogni modo il

(1) *Architecture hydraulique* - Lib. II cap. IV.
(2) *Oeuvres de Perronet.* Tom. II pag. 21.
(3) *Construction des ponts* - Lib. IV cap. II sez. V.
(4) Venturoli - Vol. I lib. III cap. IX.

metodo di aggottare per mezzo di questi semplici strumenti idrovori può talvolta riuscir conveniente, quando si tratta di vuotare de' recinti a sponde poco elevate sul pelo del fluido interno; ed offre poi generalmente il vantaggio di poter aumentare, o diminuire all'occorrenza da un momento all' altro il numero degli agenti, per far sì che si mantenga costantemente proporzionato alla quantità dell' effetto, che si vuol ottenere

Dall' addotto risultato medio dell' esperienza essendo di m. c. 46 d'acqua elevata ad un metro d'altezza l'effetto reale giornaliero d'un uomo impiegato a vuotare un recipiente per mezzo di secchie o d'altri consimili vasi, è facile d'inferire che, ove si chiami $m$ la mercede giornaliera dell'operaio, sarà, $\frac{m}{46} = 0{,}0218\ m$ il costo di ciaschedun metro cubo d'acqua sollevata alla detta altezza. Quindi, quando si conosca il volume dell'acqua che dev' esser cacciata da un recipiente, si potrà agevolmente dedurre il costo dell' operazione. Ma vuolsi di più tener conto in tali valutazioni della spesa necessaria per la compra, e per la manutenzione degli strumenti, la quale opina il Gauthey che possa stimarsi d'un millesimo di franco, equivalente a due centesimi circa di baiocco romano, per ogni metro cubo d'acqua estratta. Per lo che il costo complessivo d'un metro cubo d'acqua elevata ad un metro d'altezza col mezzo delle secchie, ed altri simili vasi a mano, assumendo per unità monetaria il baiocco romano, sarà $= 0{,}0218\ m + 0{,}02$. Messo a calcolo nello stesso modo, secondo l'asserto del Belidor, l'effetto della gotazza a castello, maneggiata per lo più, come si è detto, da due operai, risulta il prezzo d'un metro cubo d'acqua, alzata con sì fatto apparato all'altezza d'un metro, espresso dalla formola $0{,}0083\ m + 002$.

§. 912. Gli altaleni idraulici altro non sono che docce di legno, disposte a guisa di vetti a potersi muovere intorno ad un fulcro, e a raccogliere e versare alternativamente l'acqua per le due opposte estremità, mentre l'agente motore imprime ad essi un movimento rotatorio verticale alternativo. Il più semplice di tutti gli altaleni è quello, che vedesi delineato nella fig. 442, il quale consiste in una doccia $XZ$ posta in bilico sopra un cavalletto, formato di due colonnette verticali $a$, $a$, e d'una traversa orizzontale $tt$. Indotto il movimento rotatorio verticale alternativo nella doccia da un uomo, che agisce lateralmente su di essa verso l'estremità $Z$, l'acqua viene alternativamente raccolta dall'estremità più ampia $X$, allorchè questa s'immerge, e versata dall'altra estremità $Z$, quando questa viene ad inclinarsi. La fig. 443 dimostra un altaleno d'altra forma, di cui è facile di comprendere il giuoco. Questo

in Italia è noto sotto la denominazione di *conchetta* (1). Altre forme d'altaleni idraulici variatamente composti trovansi descritti nei libri tecnici; alcuni de' quali sono pure stati talvolta adoperati in qualche classica occasione d'idrauliche costruzioni. Ma stimiamo superfluo di trattenerci sopra una maniera di macchine, le quali e per la molta parte di forza motrice, che in esse si consuma a generare una semplice pressione sui sostegni, e per la pochezza dell'effetto che producono, e pel soverchio spazio che occupano, e per essere malagevoli a traslocarsi, e per l'agitazione ch'eccitano nell'acqua, onde le malte delle sottomurazioni contenute nelle fosse o ne' recinti ove si opera, corrono pericolo di sciogliersi, e finalmente pel troppo dispendioso loro apparecchio, e mantenimento, sono giudicate dai moderni costruttori mal confacenti ai fini, ed alle circostanze, cui è d'uopo che l'arte assecondi nella scelta dei mezzi per l'espulsione dell'acqua dai cavi di fondazione, e dai recinti delle sottomurali costruzioni negli edifici idraulici (2).

§. 913. Si dà il nome di noria ad una macchina, composta di due tamburi o lanterne, aventi i loro assi orizzontali paralleli, e giacenti in un medesimo piano verticale, intorno ai quali sono disposte delle funi, o catene perpetue portanti un certo numero di bigonce, o cassette, le quali quando s'imprime il movimento rotatorio all'uno, e conseguentemente anche all'altro dei due tamburi, discendono una dopo l'altra a riempiersi d'acqua nel sotto posto recipiente, e quindi salgono, rovesciandosi allorchè giungono all'apice della loro corsa, e versano quivi l'acqua, che avevano raccolta. Si rinovella la discesa, e quindi la salita dei vasi, e così alternativamente di seguito, finchè si continua a tener in azione il meccanismo. Codesta macchina si dice essere stata introdotta nella Spagna dai mori, d'onde passò nelle provincie meridionali della Francia (3). Essa è stata principalmente impiegata ad innalzare l'acqua per l'innaffiamento delle campagne; ed afferma il Borgnis che per l'irrigazioni niun'altra macchina può riuscir così utile come una noria ben costruita, quando occorre di elevar l'acqua ad una ragguardevole altezza. Per lo più le norie sono messe in moto da giumenti; ma sono pur talvolta state applicate a tali macchine le forze del vento, e dell'acqua. E l'Hachette (4) ne dà notizia di una noria, che nel 1811

(1) Borgnis - Nel luogo precitato.
(2) Gauthey - Nel luogo ultimamente citato.
(3) Borgnis - *Des machines hydrauliques* - Lib. II cap. V.
(4) *Traité élementaire des machines* - Cap. III §. 35.

era stata stabilita nelle fosse della Bastiglia, organizzata per poter esser mossa mediante l'azione di due uomini. Non sappiamo invero se i costruttori abbiano mai pensato a giovarsi di norie mosse a forza d'uomini per discacciar l'acqua dalle fosse, o dai chiusi, destinati a contenere i fondamenti degli edifici, o le parti subacquee dei muri nell'idrauliche costruzioni; ciò non ostante mi è paruto che codesta macchina debba pure essere annoverata fra gli apparati idrovori confacenti al fine anzidetto, sembrando ch'essa possa effettivamente convenire a qualche caso, in cui l'acqua abbia ad essere estratta da molta profondità; essendo altronde suscettiva d'una disposizione, che la renda agevole ad essere speditamente traslocata e sistemata, come appunto se n'ebbe esempio nella prefata noria della Bastiglia, la quale nel breve spazio d'un'ora poteva essere messa in ordine da quattro soli operai, nel luogo ov'era destinato di farla agire. Nella fig. 444 si può prendere idea della forma d'una noria, ove il tamburo superiore apparisce corredato d'una manovella onde la macchina possa essere mossa da uno o da più uomini.

§. 914. Giusta i ragguagli dell'Hachette la testè menzionata noria fu conosciuta abile ad elevare m. c. 276 d'acqua all'altezza d'un metro con l'impiego di due uomini tenuti in azione per sei ore soltanto in tutta una giornata. Chiamando, come sopra (§. 911), $m$ la mercede giornaliera di ciascun operaio, risulta il prezzo di ciascun metro cubo d'acqua sollevata alla detta altezza $=0{,}0072\,m$. E siccome tutta la macchina veniva a costare la somma di circa scudi cento romani, così facendo l'ipotesi che potesse durare al servizio di sei campagne, ciascuna di giorni sessanta, stando in esercizio dodici ore in ciascuna giornata, si dedurrebbe che pel consumo della macchina la spesa di ciascun metro cubo d'acqua portata all'altezza d'un metro si dovrebbe aumentare di baiocchi 0,06. E quindi la spesa complessiva dell'estrazione di ciascun metro cubo d'acqua sarebbe espressa dalla formola $0{,}0072\,m.+0{,}06$, qui pure prendendosi il baiocco romano per unità monetaria.

§. 915. La fig. 445 dimostra l'organizzazione d'un bindolo idraulico a canna verticale. Dal fuso d'una burbera $a$ pende una catena perpetua $c\,o\,c'\,c'$, di cui il tratto $c'c'$ passa dentro la canna verticale di legno $u\,u$, che esternamente ha una sezione quadrata, ed internamente forma un tubo cilindrico. Ai fianchi della canna sono affidati i sostegni $ss$, $ss$ dell'asse di ferro $x\,x$ della burbera, all'estremità del qual asse sono due manovelle $m$, $m$, alle quali si applicano gli uomini destinati a far agire la macchina. Fra i detti sostegni giace una doccia inclinata $b\,b$, per cui ha scarico l'acqua, che di mano in mano s'innalza internamente per la canna ed esce dalla sua sommità. Al piede della canna è annessa una cassa $d\,e\,g\,f\,h$, aperta superiormente in $f\,h$, e pertugiata nelle sue

sponde, acciocchè l'acqua possa entrarvi da ogni banda se non limpida, almeno scevra di moterie grosse, capaci d'impedire il gioco della macchina. Il fuso della burbura è guarnito di granfie *rr, rr*,... di ferro biforcate, che servono ad obbligar la catena a muoversi secondando il giro della burbera, e ad impedire che quella si mantenga ferma mentre questa si muove, come potrebbe accadere se il fuso non fusse così armato ma nudo. Le burbere, ed i verrocchi, che hanno il fuso guarnito in questa, o in altra somigliante maniera, chiamansi *ricci*, (§. 887). Lungo la catena sono distribuiti a distanze uguali i cappelletti *q. q. q*, *qq*.; ciascheduno de' quali consiste in una campanella massiccia di ferro, che ha nel vertice un occhio, per cui si attiene ad un anello della catena, e nel centro della di lei base sporge un perno o maschio, avente esso pure un occhio alla sua estremità, per poter essere attaccato ad altro anello della catena, onde così il cappelletto viene a far parte della catena stessa. La base della campanella ha un diametro ben poco minore di quello della canna. Nel sopraddetto maschio sono infilate una o due ruotelle di cuojo, di diametro perfettamente uguale a quello della canna, e dopo di esse un disco di ferro, appositamente forato nel centro; e trovansi strette le ruotelle fra la base della campanella, ed il prefato disco, mediante una zeppa a chiavetta di ferro, che s'insinua forzatamente in un'asola aperta a traverso il maschio.

Facendo girare la burbera, in guisa che la parte *cc* della catena discenda, e salga l'altra parte *c' c'*; ciascun cappelletto passa successivamente dalla cassa *ef* nella canna, e nel salire per essa trasporta seco una colonna d'acqua, che sbocca dalla sommità della canna stessa, e si scarica per la doccia *bb*. Un rullo *o*, situato per traverso nella cassa *ef*, giova a facilitare l'ingresso de' cappelletti nella canna.

La premessa descrizione, e la figura da noi addotta ritraggono fedelmente uno dei bindoli idraulici a canna verticale, dei quali si fece uso nei lavori del canale di Piccardia, e che dal Belidor (1) furono stimati degni d'esser proposti per modello. Stimiamo inutile di avvertire i vari cangiamenti cui codesta macchina è andata soggetta nelle molte altre occasioni, ove fu impiegata; cangiamenti che non feriscono la sostanza dell'artificio, ma solo le forme, le dimensioni, o la disposizione degli organi componenti. In generale l'altezza della canna può vagare fra quattro, e sei metri: ed il diametro interno di essa è ordinariamente di 13 in 16 centimetri. I descritti bindoli del canale

---

(1) *Architecture hydraulique*. Lib. II cap. IV.

di Piccardia avevano la canna alta m. 3,09 dal fondo della cassa, o scarpa, grossa esternamente m. 0,35, in quadro: ed il diametro del tubo interno era di m. 0,135; l'altezza posteriore della scarpa era di m. 0,43, il fuso della burbera aveva m. 0,43 di diametro nel mezzo, e m. 0,40 circa alle sue estremità, fortificate con viere di ferro. Intorno al fuso erano distribuite sei granfie: l'asse di ferro del fuso stesso era della riquadratura di quattro centimetri, e terminava da ambe le parti in un perno cilindrico, ripiegato a formare il braccio d'una manovella lungo m. 0,40, da cui si partiva un manubrio lungo m. 1,14, talmente che potevano agirvi contemporaneamente due persone, e quindi la macchina era in caso di essere manovrata da quattro operai. La lunghezza di ciascun cappelletto fra i due occhi, per cui si univa ai contigui anelli della catena, era di m. 0,135. La distanza fra due cappelletti prossimi era di m. 0,81. Il Belidor fu informato dagli impresari de' lavori al prefato canale, che ciascuno di tali bindoli costava 150 franchi, che corrispondono a scudi 28 romani circa.

§. 916. Secondo i calcoli dello stesso Belidor l'effetto utile di ciascun uomo addetto alla manovra d'un bindolo a canna verticale sarebbe di 495 metri cubi per giorno, alzati ad un metro d'altezza, supponendo che il lavoro di tutta la giornata sia limitato ad ore otto. Ma sarebbe questo un effetto superiore anche ai maggiori risultati forniti dall'esperienza per determinare l'effetto giornaliero d'un uomo intento a girare una manovella (1). Convien dire che il Belidor abbia fondati questi suoi calcoli sopra osservazioni non abbastanza continuate, e ripetute, ne' fatte di soppiatto, siccome è d'uopo in simili casi, affinchè i travagliatori accorgendosi d'essere osservati non abbiano a spiegare un'insolita energia, ben lontana da quella, che possono permanentemente usare. Altronde avendo egli dedotto l'effetto utile non dall'effettiva misura dell'acqua sgorgante dalla sommità della canna, ma bensì dalla velocità impressa alla catena, ed ai cappelletti, ha omesso di tener conto della perdita, che deriva dal fluido, che inevitabilmente sfugge fra il perimetro de' cappelletti, e la parete interna della canna; siccome pure non pensò a mettere a calcolo le inevitabili interruzioni, che provengono se non altro dalla necessità di rimediare agli sconcerti, che succedono nella macchina, e talvolta anche di dare un movimento retrogrado alla manovella, per gli arresti che succedono, in grazia o di qualche irregolarità della parete interna della canna, ovvero di

(1) Venturoli - Vol. I lib. III cap. IX.

qualche corpo estraneo, che s'insinua fra la parete stessa, ed il margine di qualche cappelletto. Posteriormente il Gauthey avendo consultati i risultamenti di varie autorevoli sperienze sull'effetto de' bindoli verticali, ed avendone ben considerate tutte le circostanze, ha stabilito, che l'effetto giornaliero ordinario dell'azione d'un uomo, applicato ad una di tali macchine, non possa valutarsi che di 117 metri cubi d'acqua all'altezza d'un metro (1). Adottando questo verosimile risultato, ed esprimendo al solito per $m$ la mercede giornaliera d'un operaio, il costo d'un metro cubo d'acqua, alzata per mezzo di bindoli verticali all'altezza d'un metro, sarà $\frac{m}{117} = 0,0085\,m$. Ed ammettendo in oltre con lo stesso Gauthey, che per un bindolo ordinario a quattro uomini la spesa quotidiana, che deriva dal consumo della macchina, avendo riguardo insieme al costo della sua prima costruzione, ed alle frequentissime riparazioni di cui abbisogna, sia di scudi 1,68: supponendo la macchina tenuta in azione l'intera giornata, impiegandovi dodici uomini, quattro per volta, i quali si dieno la muta d'otto in otto ore; poichè risulta di $m$ c. 1404 la quantità totale dell'acqua alzata nelle 24 ore, se ne deduce una spesa accessoria di baiocchi 0,12 per ciascun metro cubo d'acqua mandata col bindolo ad un metro d'altezza. Laonde il complessivo importo d'un metro cubo d'acqua elevata alla detta altezza viene espresso da $0,0085\,m + 0,12$.

§. 917. Non vi è alcun'altra macchina idrovora, che sia stata tanto impiegata in Francia nel trascorso secolo per l'occorrenze delle grandi fondazioni idrauliche, quanto il bindolo verticale: e ciò forse in grazia dalla facilità, con cui codesta macchina può essere traslocata, ed ammannita, dovunque occorra d'adoperarla. Tuttavia a fronte dell'anzidetta prerogativa la macchina ha tali svantaggiose qualità, per cui reca maraviglia che avvedutissimi costruttori n'abbiano sì frequentemente fatto uso. Primieramente perchè la macchina possa agire come si richiede, per toglier del tutto l'ingombro dell'acqua dalla superficie della fondazione, fa d'uopo di formar delle profonde pozze, ove possa ricoverarsi la scarpa del bindolo (§. 915); le quali sono di non facile esecuzione, poichè non possono effettuarsi, che con le cucchiaie a mano (§. 885), e danno ordinariamente origine a copiose scaturigini d'acqua. In secondo luogo le pietruzze e i grani di sabbia, che l'acqua non di rado strascina seco dentro

(1) Nel sopra citato luogo.

la canna, insinuandosi fra i cappelletti, e la parete interna della canna stessa, e facendo ostacolo all' ascensione de' cappelletti, obbligano, come già si è avvertito, a frequenti interruzioni, e producono anche talvolta, se non si usa avvertenza, lo strappamento della catena. Finalmente la canna del bindolo avendo un'altezza invariabile, ne segue ch'è pure invariabile l'altezza, a cui convien far salire l'acqua, quand'anche le circostanze non esigessero che di alzarla ad un'altezza minore. Nè sarebbe a ciò conveniente ripiego il fare dei buchi laterali nella canna a diverse altezze, da potersi aprire, e chiudere secondo l'occorrenza; poichè ben difficilmente si perverrebbe ad otturare tali buchi ermeticamente quando fosse d'uopo di far ascendere l'acqua ad un'altezza maggiore di quella, a cui essi rispettivamente fossero situati, e perchè in oltre l'ineguaglianze, che i buchi stessi produrrebbero nelle pareti interne della canna, non tarderebbero a logorare gli anelli di cuoio, che costituiscono la parte più importante de' cappelletti per l'effetto della macchina. In tali imperfezioni, e segnatamente in quest'ultima, si ravvisa, come sagacemente osserva il Gauthey, la vera cagione dell'esorbitanti somme, che furono spese per l'aggottatura delle fondazioni di molti recenti ponti della Francia, ove si preferì l'impiego de' bindoli verticali all'uso d'altre macchine, che sarebbero state più confacenti alle particolari circostanze di quei casi.

§. 918. Havvi un'altra sorta di bindolo idraulico, che chiamasi bindolo inclinato, perchè appunto l'acqua per esso s'innalza non in una canna verticale, come ne' bindoli precedentemente considerati, ma bensì in una doccia inclinata. Se ne offre una grafica rappresentazione nelle fig. 446. La doccia $aa$ di sezione rettangolare, di cui il fondo, e le sponde sono formate di grosso tavolone, si colloca in positura inclinata, in guisa che la sua estremità inferiore si immerga fino al fondo del recipiente, che vuolsi aggottare, e che la sua sommità sia appoggiata sopra la sponda del recipiente medesimo. Due rocchetti $m$, $n$ sono stabiliti alle due estremità della doccia; e quello che è posto alla sommità è guernito di due manovelle, onde poter essere girato a braccia d'uomini. Una catena perpetua $c\,c\,c'c'$ è disposta intorno a soli due rocchetti: il di lei tratto inferiore $c\,c$ si ricovera, e può scorrere dentro la doccia $aa$: l'altro tratto $c'\,c'$ superiore è sostenuto da una tavola inclinata parallella al fondo della doccia, avente due orli alquanto rilevati, onde costituisce una specie di canale $b\,b$ di piccola profondità. La catena è composta d'una serie d'anelli, o articoli di legno, ciascuno de' quali porta saldamente incastrato un cappelletto, o piuttosto una palmetta essa pure di legno, come vedesi appartatamente in $X$. Due articoli consecutivi sono congegnati a maschio, e femina, e

l'articolazioni sono formate dai perni di ferro $ee$, $e'e'$, che trapassano l'estremità d'ambi gli articoli, congegnate come si è detto: ma lento in modo, che possono tutte due piegarsi girando intorno al detto perno. La palmetta $pp$ va infilata all'articolo, ed è arrestata da un lato dal risalto superiore $s$ del corpo dell'articolo, e stretta dall'altro lato mediante la caviglia di legno $oo$. L'estremità degli articoli sono foderate di lamiera di ferro a fine d'impedire il logoramento, cui sarebbero soggette per l'attrito del perno di ferro al quale sono infilate. I rocchetti possono essere formati di due dischi uguali paralleli, e disposti sul medesimo asse, talmente che costituiscano le basi materiali d'un tamburo, nel di cui perimetro sia distribuita una serie di caviglie, che abbiano l'una dall'altra una distanza uguale a quella che passa fra due palmette consecutive della catena. Ma per lo più si formano adattando intorno ad un cilindro o rullo delle ale di legno, disposte in altrettanti piani, che passano per l'asse del rullo, e rilevate a modo che i lembi di esse sieno ad una scambievole distanza parimenti uguali a quella, che passa fra due palmette prossime. E tale appunto è la forma de' rocchetti rappresentati nella figura. I lembi dell'ale sono foderati di lamiera, onde non abbiano ad esser troppo presto consunti dall'attrito.

Disposto il bindolo nel modo che si è detto, è palese che facendo girare il rocchetto superiore, di maniera che il tratto $c'c'$ della catena perpetua discenda, e per conseguenza l'altro tratto $cc$ salga per entro la doccia $aa$, ciascuna palmetta ascendente spingerà in alto un prisma d'acqua ad essa insistente, richiuso fra le sponde della doccia, il di cui livello sarà nel piano orizzontale, che passa pel lembo superiore della palmetta stessa. E per tal modo l'acqua verrà portata fino alla sommità dalla doccia $aa$, e quivi incanalandosi per l'altra doccia inclinata $ee$ correrà a scaricarsi nel sito destinatole.

§. 919. Due questioni possono esser proposte intorno alla più vantaggiosa costituzione del bindolo inclinato; primo quale lunghezza debba assegnarsi all'intervallo fra due prossime palmette; secondo qual sia il rapporto da stabilirsi fra la lunghezza della doccia, e l'altezza a cui l'acqua dev'essere alzata: o sia quale debba essere l'inclinazione della doccia all'orizzontale, affinchè la macchina produca il maggior effetto di cui è capace.

Diciamo $a$ l'altezza delle palmette, $x$ l'intervallo fra due palmette prossime, $\alpha$ l'angolo d'inclinazione della doccia all'orizzontale. La lunghezza della doccia non importa che sia tenuta a calcolo, atteso che per se è chiaro, che fermi tutti gli altri elementi, la portata della macchina sarà sempre proporzionale a tale larghezza; e quindi istituendo il ragionamento nell'ipotesi che la larghezza stessa sia $= 1$, le conseguenze

che saremo per dedurne saranno generalmente vere, qualunque altro valore si voglia attribuire alla larghezza della doccia. Ciò posto il volume d'acqua, che viene sospinto in alto da ciascuna palmetta ascendente per la doccia, si troverà facilmente $= a x - x \frac{x^2 \text{tang.}\, \alpha}{2}$, o sia $x\left(a - \frac{x \text{tang.}\, \alpha}{2}\right)$. Ora se chiamiamo $s$ lo spazio, che ciascuna palmetta, movendosi con una data velocità, percorre nell'unità di tempo, $C$ la grossezza di ciascuna palmetta, $y$ il numero delle palmette, che son contenute in un tratto della catena perpetua, la lunghezza del quale sia $= s$, e $Q$ la portata del bindolo, vale a dire la quantità d'acqua da esso elevata nell'unità di tempo, si avranno le due equazioni

$$Q = x y\left(a - \frac{x \text{tang.}\, \alpha}{2}\right), \quad s = y\left(c + x\right);$$

e sostituendo nella prima il valore di $x$ somministrato dalla seconda, risulterà

$$Q = (s - c y)\left(a - \frac{s - c y}{2 y} \text{tang.}\, \alpha\right).$$

Applicando a codesta formola della portata i noti criteri de' massimi e de' minimi, si viene in chiaro, che la portata riesce massima allorchè

$$y = \sqrt{\left(\frac{\text{tang.}\, \alpha}{2 a c + c^2 \text{tang.}\, \alpha}\right)}, \text{ e quindi } x = \sqrt{\left(\frac{2 a c}{\text{tang.}\, \alpha} + c^2\right)} - c.$$

Questo valore di $x$ ci fa dunque conoscere quanta convien che sia la distanza fra due palmette prossime del bindolo, affinchè la portata di questo sia massima; e che, tanto se si aumenti, quanto se si diminuisca la distanza fra le palmette, da quel valore a cui risponde la massima portata, l'effetto del bindolo andrà di mano in mano scemando, quanto più sarà maggiore la differenza in più o in meno fra l'effettiva distanza delle palmette, e l'anzidetto valore. E quindi fallacemente si argomentava dal Belidor (1), che generalmente quanto più il bindolo ha le palmette ravvicinate, tanto più si accresce la sua

(1) *Architecture hydraulique*. Lib. II cap. IV.

portata; non sussistendo ciò se non che nel supposto da lui sottinteso, che la grossezza $c$ delle palmette sia zero, il quale fisicamente non può avverarsi giammai.

Se dunque sia prescritto l'angolo $\alpha$, sotto cui debba esser messo in azione un bindolo di data lunghezza, si renderà questo atto a produrre un massimo d'effetto, quando si dispongano le palmette a quella distanza scambievole, che corrisponda al testè trovato valore di $x$. E siccome sussistendo tal valore d'$x$ ne risulta respettivamente tang. $\alpha = \frac{2ac}{x^2 + 2cx}$, così apparisce quale angolo $\alpha$ sia quello, sotto cui giova di preferire un dato bindolo a qualunque altro, che essendo ad esso uguale in tutto il resto, abbia le palmette più o meno di esso distanti l'una dall'altra.

§. 920. La formola poc'anzi addotta della portata del bindolo mostra a prima occhiata che la portata stessa va di mano in mano crescendo mentre diminuisce l'angolo $\alpha$, e viceversa; e che quindi dipendentemente dall'angolo $\alpha$ essa non è suscettiva di valore massimo, sempre che si supponga costante la velocità del movimento della catena. E falso fu il raziocinio da cui lo stesso Belidor (1) fu guidato a concludere, che il problema della massima portata di una serie indifinita di cassette ascendenti per un piano inclinato, traendo seco quant'acqua può essere contenuta da ciascuna di esse, nella positura in cui si trovano dipendentemente dall'inclinazione $\alpha$ del piano all'orizzontale, si risolva per mezzo dell'equazione

$$\text{tang.}^3\,\alpha + 2\,\text{tang.}\,\alpha - \frac{2b}{c} = 0,$$

rappresentando $b$ l'altezza e $c$ la larghezza di ciascuna cassetta; la quale equazione quando $b = c$ dà $\alpha = 37^\circ\,35'$, sebbene posteriormente egli (2) applicando il discorso al bindolo inclinato, supponendo eppunto $b = c$, e richiamando l'allegata equazione, fissi poi l'angolo della massima portata di $24^\circ\,21'$, che non soddisfa per conto alcuno all'equazione stessa.

Ma relativamente all'angolo $\alpha$ il problema della massima portata del bindolo può esser proposto nell'ipotesi che sia costante, non la velocità del

(1) *Architecture hydraulique* - Lib. II cap. III.
(2) *Ibidem* - Lib. II cap. IV.

movimento impresso alla catena, ma bensì la potenza impiegata ad imprimerle il moto; nel qual caso è palese, che la portata massima corrisponderà a quell'angolo $\alpha$, che rende massimo il prodotto della quantità dell'acqua, che cape nella doccia, per la velocità con cui salisce per la doccia medesima. Sia $S$ la lunghezza della doccia, ed $n$ il numero delle palmette che in qualunque istante del movimento si trovano in essa contenute, e poste l'altre denominazioni precedentemente fissate, dicasi $R$ il volume dell'acqua, che si appoggia a tutte quelle palmette di numero $n$, che salgono contemporaneamente per la doccia. Si troverà

$$R = (S - cn)\left(a - \frac{S - cn}{2n}\,\text{tang.}\,\alpha\right),$$

e quindi il peso della massa fluida, che costantemente si appoggia sul fondo della doccia, e che la potenza deve tirar su pel piano inclinato, sarà

$$1100\,R = 1000\,(S - cn)\left(a - \frac{S - cn}{2n}\,\text{tang.}\,\alpha\right)$$

il qual peso non deve tutto essere sollevato dalla potenza, ma oppone alla potenza stessa un conato $= 1000\,R\,\text{sen.}\,\alpha$. Ricorrendo poi alle teorie meccaniche intorno al moto uniforme delle macchine (1), potremmo dedurne l'espressione dalla velocità del fluido ascendente per la doccia. Ma nell'incertezza di appigliarci piuttosto all'una, che all'altra delle formole, che derivano dalle tre diverse ipotesi in ordine alla relazione fra la forza permanente dell'uomo, e la velocità: nella difficoltà d'introdurre nel calcolo una giusta valutazione della resistenza degli attriti di vario genere, che hanno luogo da questa macchina: finalmente nella mancanza di sperienze valide ad illuminarci sui valori dei coefficienti costanti, ch'entrano nelle prefate formole, e che segnano i due gradi estremi della forza e della velocità, che l'uomo può spiegare, applicato come motore alle varie maniere di macchine; noi non vorremo accingerci ad un intricatissima ricerca, la quale non ci condurrebbe che a dei risultamenti, di cui l'arte non potrebbe per conto alcuno giovarsi.

§. 521. Le lunghezze de' bindoli inclinati, destinati ad esser mossi a

---

(1) Venturoli Lib. V cap. XVI.

braccia d'uomini, de' quali giusta i ragguagli del Belidor (1), e del Gauthey (2), si fece uso in diverse occasioni, vagano fra 5 e 7 metri e servirono ad innalzar l'acqua ad un'altezza di poco più di m. 3. Del resto oltremodo variate sono in essi le forme, e le proporzioni degli organi componenti, nè alcuno de' grandi maestri dell'arte ha preso l'assunto di decidere delle forme e delle proporzioni, che più si convengano agli organi di sì fatte macchine: nè fra le molte, che ne sono state costrutte ed impiegate, veruna ne è stata proposta come modello, che meriti d'essere imitato a preferenza d'ogni altro. Quanto all'effetto della forza dell'uomo applicata al bindolo inclinato possiamo giovarci de' risultati, che si ottennero con l'impiego di una di codeste macchine nella fondazione del ponte della Carità sul fiume Loira nella Francia, de' quali ci dà ragguaglio il secondo dei testè ricordati autori. La doccia del bindolo aveva m. 6,82 di lunghezza, ed alzava l'acqua ad un'altezza di m. 3,25, onde doveva essere inclinata all'orizzontale con un angolo, la di cui tangente = 0,54 prossimamente, cioè con un angolo di circa 28° 22'. Sei uomini erano addetti a girare la manovella della macchina, e si dava ad essi la muta di sei in sei ore, talmente che ciascuna muta non agiva che sei ore in una giornata. Con tal forza i rocchetti facevano trenta rivoluzioni ad ogni minuto, e la doccia versava dalla sua sommità m. c. 123,400 d'acqua nel periodo di ciascuna muta, cioè in sei ore. Apparisce quindi che l'effetto della macchina equivaleva a m. c. 401 d'acqua elevati in sei ore all'altezza d'un metro, cioè m. c. 67 d'acqua portata in un giorno alla detta altezza di un metro per cadauno degli operai addetti alla manovella. Quindi la spesa di mano d'opera per ogni metro cubo d'acqua, alzata con un cappelletto inclinato a forza d'uomini ad un metro d'altezza, sarebbe = $\frac{m}{67} = 0,0149\, m$, rappresentando al solito $m$ la paga giornaliera d'un travagliatore. La spesa di costruzione, e di mantenimento della macchina si ragguaglia a franchi 12, pari a scudi romani 2,234 per ogni 24 ore di lavoro, vale a dire per 1604 metri cubi di fluido tirati all'altezza d'un metro; il che corrisponde a baiocchi 0,14 per ciaschedun metro cubo d'acqua. Per la qual cosa il costo totale d'un metro cubo d'acqua, tirata per mezzo di bindoli inclinati ad un metro d'altezza, risulta = $0,0149\, m + 0,14$.

(2) Nel luogo preallegato.
(3) Nel luogo ultimamente citato.

§. 922. Da ciò apparisce che l'impiego de' bindoli inclinati rende l'operazione più dispendiosa di qualunque altra delle macchine idrovore, che precedentemente abbiamo esaminate. L'apparato di codesti bindoli è poi eccessivamente voluminoso, nè può quindi adattarsi che nei cavi, e ne' recinti molto spaziosi; e molto tempo si perde per trasportarli, e per ammannirli. Essi non sono atti ad alzar l'acqua oltre quel limite d'altezza, che fu poc'anzi notato; atteso che, onde non impiccolir di troppo l'effetto, convien disporne la doccia con una discreta inclinazione all'orizzontale (§. 920); e per averne un conveniente effetto ad un'altezza maggiore del detto limite, sarebbe d'uopo di allungare di più la doccia, per lo che crescerebbero le resistenze, e scemerebbe per questo riguardo l'effetto utile della potenza. Aggiungasi che in questa sorta di bindoli frequenti sono i bisogni di qualche riparazione, pei quali è inevitabile di sospendere l'esercizio della macchina; onde nasce, che l'effetto diurno non sempre corrisponde alla quantità notata di sopra, la quale è stata fissata senza tener conto di tali interruzioni. Del resto lo scarso effetto di codeste macchine dipende in gran parte dall'acqua che sfugge in copia fra i lembi delle palmette, e le sponde della doccia, richiedendosi per la facilità del movimento, che quelli non giungano perfettamente a contatto di queste. Potrebbe in vero togliersi o diminuirsi questa perdita sulla quantità del fluido ascendente, facendo che la catena, e le palmette salissero con una gran celerità; ma avverrebbero allora più frequenti guasti nella macchina, e si moltiplicherebbero di più i casi di dover interrompere l'operazione. In grazia di tutte queste contrarie particolarità, opina giustamente il Gauthey che l'uso de' bindoli inclinati non possa tornar vantaggioso nell'occorrenze delle fondazioni, malgrado il credito in cui codeste macchine furono tenute in passato presso i costruttori.

§. 923 Le ruote idrovore sono di due fatta; tutte però disposte a rotare intorno ad un asse orizzontale. Quelle della prima fatta, cui particolarmente compete la denominazione vitruviana di timpani, raccolgono l'acqua alla circonferenza, di mano in mano che questa nel suo giro va a sommergersi, la sospingono per interni canali fino all'altezza dell'asse, e quivi la versano in opportuni smaltitoi. Quelle della seconda fatta hanno la circonferenza guarnita di vasi, che si riempiono d'acqua, venendo l'uno dopo l'altro a tuffarsi nel recipiente, e trasportano il fluido fino all'apice della loro rivoluzione, dove nel capovolgersi lo versano in una sottoposta vasca, e quindi scendono di bel nuovo a riempirsi. Questa seconda maniera di ruote che chiamansi ruote a *cassette*, ovvero a *ciotole*, ovvero a *secchie*, a seconda della forma, e della disposizione de' vasi annessi alla circonferenza; forma, e disposizione che possono essere variate in molte guise più o meno commendevoli,

di cui gli studiosi potranno acquistar notizia ne' libri, che hanno per particolare obbietto lo studio delle macchine. Noi ci limiteremo a dire l'artifizio del timpano idrovoro, macchina di copioso effetto, e di grandissimo risparmio; sebbene, come vedremo, non valga a sollevar l'acqua che ad una mediocre altezza, e quindi non possa proporsi come un mezzo generalmente adattato a tutte le circostanze de' casi.

L'antico timpano idrovoro, commemorato, e chiaramente descritto da Vitruvio (1), consisteva in un tamburo vuoto di legno, disposto su di un asse orizzontale, chiuso tutt'all'intorno, e da ambi i lati, e diviso internamente in otto settori cilindrici uguali, per mezzo d'altrettante tramezze di tavola. A ciascuno degli otto spazi corrispondeva un'apertura nella circonferenza del tamburo, per cui l'acqua poteva liberamente entrare, allorchè nel volgersi della ruota l'apertura si sommergeva; ed il fuso o albero della ruota aveva da un lato all'intorno otto corrispondenti scanalature, in cui si annicchiavano altrettanti tubi, ciascuno de' quali dava esito all'acqua contenuta nel rispettivo settore del timpano, quando nel giro di questo la tramezza inferiore di tal settore giugneva ad essere orizzontale, e quindi continuava a salire inclinata verso l'asse. L'acqua versata dai tubi era ricevuta da una sottoposta vasca, e per una doccia unita s'incamminava al sito, cui era destinato di recapitarla. Il timpano aveva l'albero comune con una ruota a tamburo, che costituiva l'organo ricevitore, onde da uno, o da più uomini agenti nel modo già noto (§. 832) era impresso alla macchina il movimento rotatorio, da cui derivava il cercato effetto. La figura 447 ci offre un disegno prospettico di codesta antica forma del timpano idrovoro.

Ma in sì fatta costituzione della macchina ben si vede, che l'acqua, per esser portata fino all'altezza dell'asse dal timpano, deve seguire il movimento rotatorio della circonferenza, dall'infimo punto della rivoluzione, ove il fluido viene raccolto, fino al piano orizzontale che passa per l'asse; e che in questo viaggio il momento della massa fluida contenuta in un settore viene continuamente aumentandosi, finchè arriva ad avere il massimo valore quando giugne al detto piano orizzontale, e quindi annullandosi il peso si riduce a zero anche il suo momento. E ciò include insieme due svantaggi; il primo che il peso da sollevarsi resiste alla potenza con un momento variabile; laonde il movimento della macchina non sarà uniforme, ma bensì soggetto a continue variazioni; l'altro che la resistenza agisce ad una distanza dall'asse sempre

(1) Lib. X cap. IX. Belidor. *Architecture hydraulique*. Lib. II cap. IV.

maggior di quella, a cui si può far agire le potenza: sempre che la macchina vogliasi far muovere a forza d'uomini, sia col giuoco d'una manovella, sia con quello d'una ruota a piroli, ovvero a tamburo.

Con un'ingegnosa ma semplicissima modificazione, la quale fu prodotta dal de la Faye negli atti dell'accademia delle scienze del 1717 come un suo trovato, ignorando forse che precedentemente il Dechales ed il Wolfio l'avevano indicata nelle loro opere (1), si toglie al timpano l'accennata imperfezione e se ne forma una macchina delle più atte a produrre un regolare, ed abbondante effetto. La modificazione consiste nel sostituire alle tramezze piane dei diaframmi ricurvi, disposti fra i due fondi del timpano secondo l'andamento dell'evolvente del circolo costituente il perimetro della sezione del fuso, delineata sulla superficie interna dell'uno e dell'altro dei fondi medesimi; come si mostra nella fig. 448. Così accade che la massa fluida raccolta da ciascuno dei diaframmi, di mano in mano che questi si vengono immergendo nell'acqua del recipiente, è portata fino all'altezza dell'asse per una linea verticale, tangente al perimetro del fuso, e quindi agisce con un momento costante e più tenue di quello, che potrebbe risultare da qualunque altra disposizione dei diaframmi. Tale è la forma de' moderni timpani idrovori, che sono stati sostituiti agli antichi, non solo per l'irrigazioni delle campagne, e per l'occorrenze delle saline, ma ben anche nell'arte delle costruzioni per espeller l'acqua dai cavi, o dai recinti, dove vogliousi costruire regolarmente a mano delle solide masse murali.

§. 924. Nelle fondazioni del ponte d'Orleans fu impiegato uno di tali timpani idrovori avente m. 6,30 di diametro, spartito da dodici diaframmi, il quale elevava l'acqua a m. 2,60 d'altezza, ed era mosso da 12 uomini, che agivano sole ott'ore in una giornata (2). L'effetto della macchina fu sommamente vario, poichè cresceva, e diminuiva a seconda che minore, o maggiore era la saetta del segmento della ruota, che s'immergeva nell'acqua. Parve però, che l'effetto medio si avesse allorquando la prefate saetta era di m. 0,16; ed in tal caso il timpano faceva tre giri in un minuto, ed alzava m. c. 123.400 d'acqua l'ora alla detta altezza di m. 2,60. Ciò posto l'effetto medio di ciascun uomo applicato alla macchina sarebbe di m. c. 26,74 d'acqua l'ora, vale a dire di m. c. 214 il giorno, elevati ad un metro d'altezza. Gli uomini a quanto

---

(1) *Historia academiae regiae scientiarum anni* 1717.

(2) *Perronet - Oeuvres* - Tomo II pag. 20 - Gauthey - *Construction des ponts* - Lib. IV cap. II sez. V.

sembra agivano col loro peso, tenendosi attaccati a due ruote a piroli inerenti ai fianchi del timpano, come appunto si dimostra nella figura testè citata. Ora pei dati che furono addotti intorno all'effetto dell'azione dell'uomo applicato ad alzar pesi col mezzo di siffatte ruote (§. 833), essendo di sei ore il travaglio giornaliero, di chilogrammi 500, o sia di m. c. 0,500 d'acqua, il peso da elevarsi assegnato a ciascuna persona, e di m. 0,24 per minuto secondo la velocità media della potenza, e per conseguenza di m. 0,02 per secondo la velocità del peso ascendente: ne risulta che l'effetto diurno di ciascun uomo impiegato a muovere una ruota a piroli equivale a m. c. 216 d'acqua tirati all'altezza di un metro; risultato che corrisponde quasi esattamente a quello che si ottenne nell'anzidetto timpano. Tuttavia per valutare il costo d'un metro cubo d'acqua tirata all'altezza d'un metro per mezzo di macchine di tal fatta, pensa il Gauthey, che debba calcolarsi di 180 metri cubi e non più la quantità dell'acqua, che ciascuno degli uomini addetti al timpano alza in un giorno all'altezza d'un metro. Lo che stabilito, il costo d'un metro cubo d'acqua, tirata alla detta altezza, data la solita denominazione alla mercede giornaliera del travagliatore, sarà espresso da $\frac{m}{180} = 0{,}0055\,m$. E se vogliasi ammettere, giusta l'asserto dello stesso Gauthey, che il costo primitivo d'una di tali macchine sia di circa 186 scudi, e che possa una stessa macchina esser buona a servire per due campagne di giorni sessanta l'una: ascendendo a scudi 37 per campagna la spesa di manutenzione, ed intendendo che nel fissare il detto costo primitivo siasi tenuto conto del materiale servibile, che si ritrae nella demolizione della macchina, quand'essa è giunta ad essere inservibile; ne risulterà per ciascun giorno, che il timpano è tenuto continuatamente in azione, una spesa accessoria di scudi 2,116. E siccome in questo intervallo di tempo la quantità dell'acqua alzata da 36 operai in tre distinte mute sarà di m. c. 6480, così ne risulterà per ogni metro cubo la spesa di baiocchi 0,03. Sarà dunque la spesa totale d'ogni metro cubo d'acqua elevato ad un metro d'altezza espresso dalla formola $0{,}0055\,m + 0{,}03$.

§. 925. Se si paragona quest'espressione con quelle, che si sono precedentemente ottenute per fissare il costo d'un metro cubo d'acqua sollevata all'altezza d'un metro con le varie altre macchine idrovore finora considerate, si raccoglie che tutte la cedono al timpano quanto all'economia dell'operazione. Per altro siccome il timpano non alza l'acqua che all'altezza del proprio fuso, così quando si volesse adoperar codesto apparato per farla salire a notabile altezza, converrebbe ingrandire

proporzionatamente il diametro della ruota, e la macchina diventerebbe allora assai pesante, voluminosa, e malagevole al trasporto. Per tal motivo appunto se ne dovette abbandonar l'uso nell'anzidetta occasione delle fondazioni del ponte d'Orleans. Un altro rimarchevole difetto del timpano consiste nella difficoltà di alzarlo, e di abbassarlo, corrispondentemente alle variazioni, che accadono nell'altezza nell'acqua del recipiente nell'atto dell'operazione. Il grand'utile che deriva dall'uso di codesta macchina in ordine alla poca spesa dell'operazione, meriterebbe, che i costruttori si studiassero di perfezionarne la disposizione, con la mira di togliere l'accennata difficoltà; il che opinasi che di leggieri potrebbe conseguirsi. E si presume altresì che quando la macchina debba esser mossa a forza d'uomini, sarebbe vantaggioso di farli agire piuttosto su d'una manovella, che nelle ruote a piroli, come si è praticato in addietro (1).

§ 926. Si conoscono due maniere di coclee idrovore: la coclea o vite d'Archimede, e la *vite olandese*. L'artificio della prima è comunemente noto. La vite olandese ha intorno al cilindro in vece del tubo spirale un'ala prominente, disposta a spire sulla traccia d'un'elice descritta nella superficie del cilindro; ed è aggiustata a rotare dentro una cassa immobile, a forma di segmento cilindrico vuoto, sì fattamente che i margini delle spire radano la superficie concava di codesta cassa. Coclee di cotal fatta sono usitate nell'Olanda, d'onde hanno ricevuto il nome; sempre però sotto grandi dimensioni, essendo per solito il diametro interno della cassa cilindrica di circa m. 1,70: e mosse dalla forza del vento, disponendosene diverse in guisa tale, che possono tutte ricevere il movimento da un medesimo molino a vento (2). Nelle occorrenze delle fondazioni degli edifici la coclea che suol adoperarsi è quella d'Archimede, di cui offresi una rappresentazione nella fig. 449. La teorica insegna a determinar la portata d'una coclea, e la potenza che abbisogna per aggirarla con moto equabile, dati che sieno tutti gli elementi relativi alle dimensioni e alla disposizione della macchina (3): e sarebbe qui superfluo di riassumere così fatte indagini. Resta dunque soltanto che consultiamo l'esperienza, per conoscere l'effetto, di cui in pratica la coclea può giudicarsi capace, e per dedurre il costo verosimile dell'aggottatura eseguita con questa sorta di macchine.

---

(1) Gauthey - *Ibidem*.
(2) Hachette - *Traité elementaire des machines* - Cap. 1 § 252.
(3) Venturoli - Vol. II lib. V cap. V.

Sappiamo dal Perronet (1) che nell'anzidetta occasione della fondazione del ponte d'Orleans si fece uso d'una coclea lunga m. 2,6, ed avente esternamente di diametro m. 0,49. Questa era per lo più tenuta nell'inclinazione di 33°, ed innalzava l'acqua all'altezza di m. 1,14. Era messa in movimento da due uomini per mezzo d'una manovella, il di cui gomito era lungo m. 0,32; e questi due uomini si cambiavano di due in due ore con turno tale, che in tutto ciascun uomo lavorava ore otto delle 24 componenti una giornata. La manovella compiva trenta giri in un minuto, e l'acqua sollevata nello stesso tempo era di m.c. 0,308. Quindi ciascun uomo nel suo lavoro diurno alzava alla detta altezza di m. 1,14 m. c. 73, 920 d'acqua, equivalenti a m. c. 84 circa ad un metro d'altezza.

Fu avvertito dello stesso Perronet, che il muovere una manovella inclinata è per l'uomo un'azione assai penosa, e deve quindi necessariamente riuscire d'un effetto molto più scarso di quello, che può ottenersi da un uomo applicato ad una manovella orizzontale; il quale, ritenendo i dati del Coulomb (2), ed ammettendo che le ott'ore di travaglio giornaliero sieno tutte effettivamente utili, siccome si è potuto dedurre da osservazioni posteriori a quelle del prenominato fisico (3), equivale m. c. 155 d'acqua alzati ad un metro d'altezza. I moderni costruttori si sono studiati d'evitare nell'uso della coclea, codesto svantaggioso modo d'applicazione degli agenti motori: facendo dipendere il movimento della manovella dal movimento rotatorio alternativo d'un vette, che dagli uomini viene spinto e tirato a vicenda, ed agisce nella stessa guisa del pedale degli arrotini (4). Gli effetti più copiosi osservati nelle coclee idrovore, dopo questo cangiamento introdotto nell'organo ricevitore, hanno indotto il Gauthey a stabilire, che l'effetto medio di ciascun uomo impiegato a far agire una coclea, imprimendole il movimento mediante l'anzidetto meccanismo annesso alla manovella, sia di m. c. 90 d'acqua tirati in un giorno all'altezza d'un metro. In questo dato il costo d'un metro cubo d'acqua per ciascun metro contenuto nell'altezza, a cui il fluido dev'essere alzato, sarà $=\frac{m}{90}=0{,}0111\,m$. Supponendo poi che il costo di una vite d'ordinaria grandezza, cioè

(1) *Oeuvres* - Tom. II pag. 20.
(2) Venturoli - Vol. I lib. III cap. IX.
(3) Guenyveau. *Essai sur la science des machines* - Pag. 278. Gauthey - Nel luogo precitato.
(4) Gauthey - Ibidem.

della lunghezza di m. 5,85, e di m. 0,49 circa di diametro, sia di scudi 186, e che possa essa durare al servizio di cinque campagne, senza un valutabile dispendio di manutenzione: essendo tenuta in servizio dodici ore in ciascuna giornata da 18 persone a 9 per volta, dandosi la muta di due in due ore, e quindi sollevando all'altezza d'un metro una quantità d'acqua di m. c. 1620 il giorno, si trova per ciaschedun metro cubo d'acqua la spesa accessoria di baiocchi 0,04; laonde la spesa complessiva risulta per ogni metro cubo d'acqua sollevato all'altezza d'un metro $= 0,0111\,m + 0,04$.

§ 927. Si scorge dal precedente computo che l'alzamento dell'acqua, eseguito mediante la vite d'Archimede, importa una spesa minore di quella che deriva dall'uso di qualunque degli altri mezzi, dei quali abbiamo dianzi parlato, eccettuando però il bindolo verticale (§ 916.), ed il timpano (§ 924), pei quali si ottiene l'effetto con maggiore economia. La coclea a paragone delle due macchine ora menzionate ha il pregio d'essere più maneggevole, e più durevole, più facile a disporsi per essere messa in atto, e ad aggiustarsi alle variazioni, che succedono nel pelo dell'acqua nel ricettacolo dal quale dev'essere cacciata. Per altro essa con l'accennate ordinarie dimensoni non è atta ad alzar l'acqua che ad un'altezza di m. 3,25 al più; e quando si volesse costruire di maggior larghezza per farla servire ad un alzamento maggiore, sarebbe d'uopo di assegnare all'albero, o cilindro interno una maggior grossezza: con che la macchina perderebbe quelle doti, che derivano dalla leggerezza, e che abbiamo testè accennate, e dovrebbe anche diminuirsi il suo effetto crescendo la resistenza degli attriti; diversamente l'albero essendo troppo sottile relativamente alla sua lunghezza, sarebbe soggetto a curvarsi sotto il carico, che deve sopportare quando la vite si trova in azione, e quest'alterazione verrebbe necessariamente a turbare la regolarità del movimento, ed a scemare la portata della macchina. Quest'insuperabili ostacoli, che impediscono di dare alla vite d'Archimede una più che ordinaria lunghezza, e di renderla così atta a sospinger l'acqua ad altezze eccedenti il limite anzidetto, dette forze origine all'invenzione della coclea olandese, nella quale siccome il peso dell'acqua ascendente per l'interno vano spirale non agisce sull'asse materiale della coclea, così questo non è tanto stimolato a curvarsi quanto lo è l'asse della vite archimedea, e può quindi senza rischio assegnarsi ad esso una maggior lunghezza senza che sia d'uopo d'ingrandirne eccedentemente il diametro. Ma la vite olandese non ha quella semplicità, e quella facilità d'essere trasportata, e disposta dove occorre, che si richieggono nelle occorrenze delle fondazioni; e non sappiamo

ch' essa sia stata adoperata, se non che in uno stabile collocamento per la bonificazione, o per l'irrigazione delle campagne.

§ 928. Per ultimo fra gli apparati idrovori praticabili ne' cavi, e nei recinti, ove debbono essere espulse le acque per potervi costruire regolarmente i fondamenti, o le parti inferiori de' muri d'un edificio, ci resta a dire delle trombe. Delle quali non ci arresteremo a spiegar l'artificio, essendo questo comunemente noto, e segnatamente a coloro cui è destinato questo corso d'istituzioni; nè vorremo accingerci a descriverne le parti, ed a parlare minutamente de' migliori metodi di costruirle, e di disporle, che sarebbe materia eccessivamente prolissa. Ci limiteremo semplicemente ad investigare la quantità dell'effetto, di cui le trombe possono riputarsi capaci, giusta i dati dell'esperienza: ed a stabilire la formola della spesa occorrente per innalzar l'acqua con questa sorta di macchine.

Osservò il Boistard (1) che una tromba avente il diametro di m. 0,27 che esigeva l'impiego di 21 uomini, divisi in tre compagnie di 7 persone per ciascheduna, le quali si cangiavano per turno, faceva salire in 24 ore m. c. 508, 520 d'acqua all'altezza di m. 3,63: il che equivale a m. c. 88 circa d'acqua il giorno all'altezza di un metro per ciascheduno degli uomini impiegati. Un'altra tromba, la quale aveva m. 0,244 di diametro, con l'impiego dello stesso numero di persone portava met. c. 470,640 a m. 3,57 d'altezza; il che corrisponde a m. c. 80 prossimamente d'acqua sollevati da ciascun uomo in un giorno all'altezza d'un metro. Quindi si deduce che l'effetto medio di ciascun uomo nella manovra delle trombe è di alzare m. c. 84 d'acqua all'altezza d'un metro, d'onde si ricava che la spesa di mano d'opera nell' aggottature eseguite per via di trombe è $\frac{m}{84} = 0{,}0119\,m$ per ogni metro cubo d'acqua sollevato all'altezza d'un metro. La spesa accessoria pel consumo delle macchine, calcolato il costo primitivo, e la manutenzione di esse, a giudizio del Gauthey può stimarsi di scudi 1,12 per ciascuna giornata, vale a dire per 1764 metri cubi d'acqua all'altezza d'un metro; onde baiocchi 0,07 per ogni metro cubo. Sarà dunque la spesa totale occorrente per l'alzamento d'un metro cubo d'acqua ad un metro d'altezza espressa della formola $0{,}0119\,m + 0{,}07$.

§. 929. L'alzamento dell' acqua col mezzo di trombe risulta più dispendioso, che con l'altre macchine precedentemente discorse, se si

(1) *Experiences sur la main d'oeuvres de différents travaux*. Pag. 63.

eccettuino gli strumenti a mano (§. 910) ed il bindolo inclinato (§. 918). Ma nell' effettive occorrenze della pratica può tuttavia accadere, che talvolta la spesa dell' operazione sia minore adoperando le trombe di quello che sarebbe facendosi uso degli altri soliti mezzi, atteso la facilità, che si ha nelle trombe, di far salir l' acqua a quella precisa altezza, che bisogna, e non più, allungando ed abbreviando giusta il bisogno il tubo montante; mentre nell' uso dell' altre macchine è sempre indispensabile che l'acqua s'innalzi a quell'altezza costante, che corrisponde dalla regolare disposizione dell'apparato, quantunque per lo scopo essenziale non occorresse di farla salire tant' alto. Le trombe posseggono poi eminentemente la prerogativa di poter essere agevolmente traslocate e disposte, e di esigere pochissimo spazio per poter essere situate. Vuolsi per altro avvertire che mal consigliato sarebbe l' uso delle trombe, per quanto potesse apparir confacente alle circostanze, quando si trattasse di operare in acqua torbida; poichè l' arena, ed il limo venendo assorbiti in tal caso insieme con l'acqua, s' introducono fra lo stantuffo, e le pareti della tromba e fra l' articolazioni delle valvole, aumentando gli attriti e rendendo inerti l' articolazioni medesime: producono sollecite, e notabili alterazioni nella macchina: e giungono bene spesso a renderla inoperosa. Anche nell' uso de' bindoli verticali si va incontro, sebben in minor grado, a codesto disordine, se limacciosa è l'acqua, che deve essere innalzata.

§. 930 Abbiamo stimato utile di raccogliere ordinatamente nel sottoposto quadro i già riferiti risultati dell' esperienza in ordine all' effetto di cui sono capaci gli strumenti, e le varie macchine idrovore a forza umana, di cui può farsi uso nell'occorrenze architettoniche: alla forza necessaria per maneggiare, o per tenere in movimento ciascuno strumento, e ciascuna macchina, esprimendosi questa forza pel numero degl' individui, che debbono mettersi contemporaneamente in azione: finalmente alla spesa in cui s'incorre, secondo che si eseguisce l' aggottatura con uno, o con un' altro de' motivati mezzi. La prima colonna dello specchio nomina gli strumenti e le varie sorte di macchine: la seconda cita i precedenti paragrafi in cui si contengono per ciascheduna macchina i fatti, e le deduzioni, che vengono riepilogate nello specchio: la terza fa conoscere il numero degli operai, che debbono simultaneamente impiegarsi per tener in esercizio le varie macchine: nella quarta si assegna il numero dell' ore, che costituiscono la durata del lavoro giornaliero d'un uomo nell' esercizio di muovere le diverse macchine: nella quinta l' effetto diurno utile di ciascun uomo impiegato, vale a dire il numero de' metri cubi d'acqua che ciascun uomo alza in un giorno all' altezza d' un metro, stando in azione l' anzidetto numero d' ore: finalmente la sesta, e la settima esprimono il costo elementare dell' operazione, o sia la spesa che si richiede

per alzare un metro cubo d'acqua all'altezza d'un metro, adducendosi nella sesta il costo della mano d'opera, e nella settima la spesa che corrisponde al consumo della macchina. Si vuol rammentare che $m$ è il simbolo della mercede giornaliera di ciascun operaio, e che nelle espressioni della spesa si è generalmente adottato per unità monetaria il baiocco, o sia la centesima parte dello scudo romano. Gioverà d'aver sotto gli occhi questo quadro, allorchè verrà il caso di prefiggere il metodo più conveniente da tenersi per cacciar l'acqua da qualche cavo, o da qualche recinto, in cui vogliasi regolarmente costruire una massa murale, e di calcolarne anticipatamente la spesa. La scelta dovrà dipendere, e dall'altezza a cui occorre di far salire l'acqua: e dell'ampiezza dello spazio in cui si deve operare: e dall'abbondanza con la quale potrà presumersi che l'acqua scaturisca, e subentri perennemente a quella, che viene estratta, poichè evidentemente importa che tanta continuamente se ne estragga quanta ne scaturisce, affinchè il sito si mantenga asciutto: e dallo stato di purezza, o di torbidezza dell'acqua, che dev'esse espulsa. Talvolta potrà anche accadere, che per conseguire completamente il necessario effetto sia d'uopo di tenere in azione contemporaneamente più di una macchina; siccome pure talvolta per non incorrere in una spesa superflua, giova d'impiegare nello stesso tempo due, o più macchine di vario artificio, tali che possano insieme produrre l'effetto necessario con l'opera del minor numero di persone, che sia possibile. La spesa si calcolerà immediatamente per le formole contenute nelle due ultime colonne.

dell'albero, come ne' comuni pistrini a grano. I cavalli erano regolati da un solo cavallaro, ed insieme con questo erano mutati tre volte il giorno; onde s'impiegavano in una giornata 36 cavalli, e tre cavallari. I due bindoli alzavano nelle 24 ore all'altezza d'un metro m. c. 16165 d'acqua. Le spese di stabilimento, e di consumo delle macchine a giudizio del Gauthey (1) potevano ammontare a scudi 7 circa per ciaschedun giorno. Se dunque chiamiamo $p$ la mercede giornaliera d'un cavallaro, e $q$ il nolo giornaliero d'un cavallo, il costo d'un metro cubo d'acqua alzato con un sì fatto apparato all'altezza d'un metro sarà

$$\frac{3p+36q+700}{16165}=0{,}0002\,p+0{,}0022\,q+0{,}04,$$

prendendosi al solito per unità monetaria il baiocco romano. Al saggio dei prezzi giornalieri de' cavalli e de' cavallari supposto dal prefato autore, sarebbe $p=65$, $q=93$: onde risulterebbe il costo d'ogni metro cubo d'acqua sollevata all' altezza d'un metro di baiocchi 0,25. Con l'uso del bindolo a braccia d'uomini, supponendo con lo stesso Gauthey $m=35$, sarebbe il costo di ciascun metro cubo d'acqua tirato alla stessa altezza di baiocchi 0,66, pressochè il triplo di quello che risulta pel bindolo mosso da cavalli. Apparisce dunque che un notabile risparmio si può ottenere facendo agire i bindoli inclinati a forza di cavalli anzi che per mezzo di manovali. Ma la quantità del risparmio è ben chiaro che non può generalmente fissarsi, e che solo potrà conoscersi ne' casi pratici, quando sieno noti i valori di $m$, di $p$, e di $q$.

§. 932. Alle fondazioni dello stesso ponte d'Orleans si fece anche agire un bindolo inclinato per mezzo della corrente. L'organo ricevitore era una gran ruota verticale a palmette, la quale aveva m. 2,60 di raggio, misurato dal centro delle palmette, compiva 180 rivoluzioni ad ogni ora, ed alzava nello stesso tempo m. c. 68,48 d'acqua all'altezza di m. 3,90 (2); effetto che corrisponde a m. c. 267 d'acqua sollevati all' altezza di un metro. L'effetto diurno era dunque di m. c. 6408 d'acqua innalzati alla detta altezza. Calcolandosi poi (3) che la macchina messa in punto di poter agire costi scudi 447 circa, e che possa servire per due campagne di giorni 60 l'una, ne risulta una spesa accessoria di scudi 3,725 per

(1) Nel luogo precitato.
(2) Perronet - *Ibidem* pag. 18.
(3) Gauthey - *Ibidem*.

giorno: alla quale vanno aggiunti scudi 4,470, che si presumono necessari per supplire alle spese di manutenzione, e allo stipendio delle persone necessarie per sorvegliare la macchina. In totale occorre dunque una spesa quotidiana di scudi 8,195, che corrisponde a baiocchi 0,13 prossimamente per ciascun metro cubo d'acqua mandato ad un metro d'altezza. Da ciò si scorge che la spesa dell'aggottatura col bindolo mosso dall' acqua è la metà circa della spesa che s'incontrerebbe con l'uso di bindoli a cavalli, ed un quinto di quella che costerebbe l'operazione eseguita per mezzo di bindoli comuni a forza umana.

§. 933. Nelle fondazioni del gran ponte di Neuilly s'impiegò la forza della corrente della Senna a far girare mediante una gran ruota verticale ad ale una ruota idrovora a cassette o buglinoli (§. 923), la quale attingeva l'acqua nei recinti a stagno, e la sollevava ad un'altezza media di m. 3,60. La distanza del centro di ciascun'ala dall' asse della ruota era di m. 2 circa: una rivoluzione della ruota succedeva nell'intervallo di 24 minuti secondi. In 24 ore era sollevato all'anzidetta altezza un corpo d'acqua di m. c. 4442; onde l'effetto diurno della macchina equivaleva a m. c. 15991 d'acqua portati all'altezza di un metro (1). Se dunque vogliasi ammettere, conforme opinò il Gauthey (2), che una macchina di tal fatta per essere costrutta, e messa in ordine nel sito ove dev' esser adoperata, possa richiedere una spesa di scudi 1117: che sia in grado di poter servire al lavoro di due campagne di 60 giorni l'una: e che in questo periodo la manutenzione di essa, unita alle mercede degli uomini destinati a vegliare sul buon andamento dell' operazione, possa ascendere a scudi 1,86 in ciascun giorno; risulta la totale spesa giornaliera di scudi 11,17. Laonde il costo di ciascun metro cubo d'acqua portato all' altezza d'un metro si trova di baiocchi 0,07, vale a dire circa la metà del costo or dianzi addotto dell' acqua alzata per mezzo di bindoli mossi dalla corrente. Nelle fondazioni del ponte di Nemours, con una ruota a cassette mossa parimenti dalla forza della corrente, si ottennero dei risultati anche più vantaggiosi di quelli, che si ebbero al ponte di Neuilly (3). È dunque forza concludere, che con l'azione d'una corrente, applicata ad aggirare una ruota a cassette, si ottiene l'alzamento dell' acqua con minore dispendio, che con qualsiasi altra delle macchine da noi esaminate, a cui si voglia applicare la forza degli uomini, o dei cavalli, ovvero quella di una corrente non ostante che in un apparato di tal fatta si ravvisi dai meccanici una disposizione, che per qualche riguardo è contraria al maggior effetto della forza impiegata: fra

(1) Perronet - *Ibidem* pag. 39. (2) Nel luogo suallegato.
(3) *Boistard* - Opera precitata, pag. 67 e seg.

l'altre cose essendo difficilissimo d'evitare che qualche porzione dell' acqua raccolta venga dalle cassette versata nel recipiente medesimo da cui fu tratta.

§. 934. Da quest' ultimi ragguagli si deduce che con l'impiego dei cavalli, e molto più col mettere a profitto la forza d'una corrente per tenere in azione le macchine idrovore nell' occorrenze delle fondazioni murali, si può conseguire l'effetto con una spesa notabilmente minore di quella, che deriva dall' impiegar delle macchine a forza umana. Ma non sempre le circostanze del sito concedono che si adattino tali vantaggiose disposizioni; e nelle occorrenze di breve durata la dimostrata economia potrebbe talvolta svanire, se la spesa che deve farsi per apparecchiare, e per sistemare la macchina, dovesse essere ripartita in un numero di giorni assai minore di quello, che esprime la durata verosimile della macchina, e sul quale sono fondate le premesse deduzioni. Le ruote a cassette mosse dalla corrente, che l'esperienza ha fatto conoscere più confacenti di qualunque altro espediente all'economia dell'operazione, hanno essenzialmente il difetto di alzar l'acqua ad un'altezza invariabile: onde il vantaggio, che deriva dall' uso di esse, può diventar minore, ed anche annullarsi, quando si adoperino in qualche caso, ove bastasse di far salire l'acqua ad un'altezza minore di quella, a cui esse necessariamente la trasportano. Nè conosciamo artificio alcuno, che sia valevole a mettere la macchina in istato di poter servire all'alzamento dell' acqua a varie altezze secondo il bisogno, senza andar lungi da quella semplicità, che forma un requisito importantissimo di questa, e d'ogni altra sorte di macchine destinate alle varie occorrenze dell' arte edificatoria.

Il Gauthey ci narra, che alle fondazioni del ponte di Beaumont sul fiume Oise fu scacciata l'acqua dai recinti a stagno mediante una noria (§. 913) mossa dalla forza della corrente, pel meccanismo d'una ruota ad ale. E sebbene si confessi ignaro de' risultati effettivi, che se ne ottennero, tuttavia non a torto egli congettura, che dovessero essere più vantaggiosi di quelli delle ruote a cassette, mentre non v'ha dubbio, che la disposizione della noria favorisce maggiormente, e deve quindi rendere più proficua l'azione della forza motrice. Oltre di che questa macchina può agevolmente esser adattata a portar l'acqua ad altezze maggiori, o minori, secondo il bisogno: altra prerogativa molto interessante, che la rende preferibile alle ruote idrovore; fra le quali in ogni caso, qualunque cioè sia l'agente motore di cui vogliasi servire, dovrebbesi dare la preferenza al timpano moderno (§. 923) atteso la sua già avvertita miglior costituzione per la produzione del divisato effetto.

## CAPO VII.

### *Delle macchine palificatorie.*

§. 935 Le macchine di cui per ultimo prendiamo a trattare, sono le macchine *palificatorie*, cioè quelle, che sono destinate a facilitare le varie operazioni che occorrono nelle costruzioni delle palificate, per quei vari fini dei quali si è parlato ne' precedenti libri. A tre capi si riducono codeste operazioni, e sono; 1.° l'affondamento dei pali; 2.° l'estrazione dei pali allorchè è cessato il bisogno di qualche lavoro provvisionale, di cui essi facevano parte, ovvero quando accade di avere a piantare un nuovo edificio in un luogo, in cui restino le vestigia di antiche costruzioni, o finalmente nel caso che qualche palo nell'atto di essere affondato abbia preso una falsa direzione, e si trovi soverchia difficoltà a raddrizzarlo: 3.° finalmente la recisione attraverso dei pali, che trovansi già affondati, allorquando, essendo le loro teste coperte dall'acqua, è impedito da questa il maneggio, e l'effetto delle mannaie, e delle seghe ordinarie.

§. 936. L'affondamento d'un palo nel terreno si eseguisce a furia di reiterate percosse d'una grave massa, che si fa piombare da qualche altezza sopra la testa di esso, dopo di averlo messo verticalmente a segno nel sito assegnatogli. La massa percuziente è denominata maglio; e consiste in un ceppo di legno duro e pesante, fortificato da robuste cerchiature di ferro, segnatamente verso la sua estremità inferiore: ovvero in un rocchio o pestone di ferro fuso, o di bronzo. Vi sono dei magli destinati ad esser maneggiati da un certo numero d'uomini a braccia senza il soccorso di verun apparato meccanico, e questi diconsi magli semplici, ed anche *mazzapicchi*. Ve n'ha poi altri destinati pei casi di maggior difficoltà, i quali sono disposti in un castello di legname, con meccanismi adattati a facilitarne il giuoco per l'affondamento dei pali; e questi costituiscono quella specie di macchina, cui la pratica conosce indistintamente sotto i nomi di *batti palo*, di *castello*, di *gatto*, di *berta*.

§. 937. Il maglio semplice altro dunque non è che un grosso ceppo di legno forte, pesante da 50 fino a 250 chilogrammi, cerchiato come già si è detto di ferro, ed avente intorno vari manichi per poter essere impugnato da' più persone, le quali sollevatolo quanto possono, lo fanno poi cadere sopra la testa del palo, che vuolsi affondare, reiterando i colpi finchè questo sia penetrato nel terreno alla prefissa profondità. Tale è la forma del maglio, che vedesi rappresentato nella fig. 450. Ma con quella foggia di manichi, o impugnature, che appunto si dimostra nella figura anzidetta, il maglio non può servire se

non che a battere un palo, la di cui testa non sia più elevata della cintura d'un uomo di statura ordinaria; e volendolo adoperare per l'affondamento di lunghi pali sarebbe d'uopo di palchi, che sostenessero gli uomini ad una giusta altezza relativamente all'elevazione delle teste dei pali, che dovessero esser battuti, e converrebbe poi, che l'altezza dei palchi medesimi fosse di tanto in tanto diminuita, a proporzione che le teste dei pali venissero discendendo nel progresso dell'operazione. Circondando il maglio di lunghe impugnature, come si osserva nella fig. 451, si rende esso adattato a poter battere dei pali lunghi sopra terra oltre il prefato limite, senza bisogno di palchi, dovendosi perciò adoperare come apparisce in $X$; e adattoto altresì a battere dei pali, i quali abbiano le teste assai basse, nel qual caso si capovolge il maglio, e si adopera in quel modo, che viene rappresentato in $Z$.

§. 938. Nel maglio semplice sono da notarsi alcune interessanti prerogative. Primieramente esso è agevole ad esser trasportato da un luogo all'altro, e ad essere adoperato anche ne' siti più angusti. Atteso la sua semplicità esso esige poca spesa per esser costrutto, e nullo, o tenuissimo è il costo della sua manutenzione. Siccome poi la forza motrice trovasi immediatamente, e direttamente applicata a sollevare il maglio senza verun organo intermedio, così l'azione di essa si rende tutta proficua, non dissipandosene alcuna parte nè a vincere la resistenza degli attriti, e della rigidezza delle funi, nè a produrre inutili sforzi, come inevitabilmente accade nei magli a castello. Forse anche il colpo del maglio semplice, oltre la forza che acquista per la caduta, può essere alcun poco accresciuto da qualche sforzo, che facciano gli operai per ispingerlo a basso, ed accelerarne la velocità. Tuttavia malgrado queste vantaggiose proprietà il maglio semplice non è adattato, che per l'affondamento di corti pali, e che non oppongano una gagliarda resistenza ad essere spinti dentro terra. L'aste destinate a servire d'impugnature (fig. 451) non possono eccedere un certo limite di lunghezza; e quanto più sono lunghe tanto più si rende difficile che il maglio salga, e discenda perfettamente a perpendicolo sul palo, e lo percuota regolarmente e con tutta la forza che corrisponde al proprio peso, e all'altezza della caduta; poichè appunto quanto più lunghe sono l'aste, tanto più sensibile deve farsi l'effetto delle diverse stature dei travagliatori, e della diversa energia con cui agiscono sulla direzione, che prende il maglio nella sua salita e nella sua discesa. Per la qual cosa si è conosciuto in pratica che l'impiego de' magli semplici non può convenire se non che ai casi, nei quali la lunghezza dei pali da affondarsi non arriva che a due, o al più a tre metri. Ma anche per

l'affondamento de' pali, che non oltrepassano codesto limite di lunghezza, può l'uso del maglio semplice riuscire inefficace, ove si tratti di pali di molta grossezza, da ficcarsi in un terreno, che opponga una vigorosa resistenza. Ed in fatti l'impeto della percossa d'un mazzapicchio non può crescere che fino ad un certo limite, atteso che i due elementi, dai quali esso dipende (§. 573), cioè il peso del maglio, e la velocità acquistata nella caduta, hanno entrambi dei limiti, che non possono trascendersi. Non la velocità, perchè questa non può avere un valor maggior di quello, che corrisponde alla massima elevazione, cui un uomo di statura ordinaria può portare il maglio sopra la testa del palo; altezza che può fissarsi d'un metro o poco più. Non il peso del maglio, perchè al crescer di questo convien che cresca proporzionatamente il numero degli uomini agenti, e moltiplicandosi questi di troppo sarebbe difficile di farli operar d'accordo, e senza confusione, come si richiede acciocchè ne' risulti un effetto regolare, e senza sprego di forza. Che anzi, quantunque sia stato detto or ora (§. 937) che il peso del maglio semplice si fa giugnere talvolta fino a chilog. 250, tuttavia sembra che in pratica non debba convenire l'uso di mazzapicchi di tanto peso, e che al più per un regolare effetto possa adoperarsi un mazzapicchio del peso di chilog. 100, pel maneggio del quale occorre l'impiego di cinque, o sei persone: massimo numero da cui possa sperarsi un'azione concorde, e tutta proficua all'effetto cui si mira. Laonde l'impiego del mazzapicchio per l'affondamento dei pali si riduce semplicemente a quei casi, nei quali la resistenza da vincersi non eccede il valore della percossa prodotta dal detto peso di chilog. 100, caduto dalla prefata altezza d'un metro o poco più.

§. 939. La berta è una macchina, che mette il maglio in istato di poter percuotere le teste dei pali a maggiore altezza da terra di quella, a cui può essere impiegato il mazzapicchio senza bisogno di palchi, e con maggior impeto di quello che può farsi dal maglio semplice; atteso che mediante una tal macchina possono mettersi in azione dei magli di peso notabile, facendoli cadere da un'altezza maggiore di quella, a cui potrebbero essere sollevati a foggia di semplici mazzapicchi. Generalmente la berta consiste in un castello di legname di forma piramidale, con una sola faccia verticale, ed è quella lungo la quale il maglio deve scorrere avanti e indietro, la quale costituisce la fronte della berta; al di cui apice è una ruotella verticale sporgente dalla fronte anzidetta, ed a questa ruotella è sovrapposta una fune, che col suo capo anteriore sostiene il maglio, ed all'altro capo di essa agisce la forza motrice destinata a sollevare il maglio, o immediatamente, o pel meccanismo d'un asse nella ruota. Nel primo caso la macchina può chiamarsi

*berta semplice*: nel secondo caso può competere ad essa la denominazione di *berta-capra*, perchè è composta appunto degli organi stessi, che costituiscono il corredo ordinario della capra per alzar pesi (§. 860, 863).

§. 940. La fig. 452 ci presenta il disegno d'una delle grandi berte semplici, che servirono a battere i pali nelle fondazioni del ponte di Neuilly. Ciascuno può da se medesimo considerare la disposizione, ed i vari uffici dei diversi membri, che compongono il castello. È da avvertirsi che le due guide *GG*, *GG*, fra le quali è obbligato a scorrere il maglio e nella salita e nella discesa, essendo scavati a bella posta nei fianchi del maglio stesso due canali, a cui vanno infilati i fianchi dell'anzidette guide, non hanno una posizione fissa, ma possono disporsi verticalmente, ovvero obliquamente, e fermarsi nell'uno, o nell'altro modo fra le traverse inferiori *tt*, *tt*, sporgenti dalla fronte del castello. Poteva così la macchina facilmente accomodarsi all'uopo di battere qualche palo obliquamente, senza che si dovesse inclinare addietro tutto il castello, rialzando la parte anteriore della sua base con sottoporvi delle zeppe, come è mestieri in simili occorrenze, quando si fa uso di berte sprovviste del motivato artificio, nelle quali cioè i membri che dirigono la forza del maglio sono in una posizione invariabile relativamente al resto del castello. Il verricello *V*, ed il bozzello superiore *B*, inerenti al castello lo rendono atto a servire in qualità di capra, per poter tirar in alto i pali, rizzarli, e metterli a segno prima d'intraprenderne la battitura. Più comunemente però le berte semplici non contengono codesto meccanismo accessorio pel rizzamento dei pali, e questo si ottiene col mezzo d'un paranco attaccato alla sommità del castello; questo metodo essendo anzi più vantaggioso dell'altro, perchè permette d'impiegare un maggior numero di persone, onde i pali si mettono a segno così con maggior sollecitudine; ed è minore il tempo, che per quest'operazione si perde dalla numerosa squadra degli operai dediti alla manovra effettiva del maglio. Il palo, che deve essere rizzato si allaccia ad un terzo circa della sua lunghezza, e tiratolo all'altezza conveniente, si mette in positura verticale, e si fa discendere pian piano a piantarsi con la punta in terra: ed allora si scioglie, e si comincia la battitura. La ruotella *R* solcata nel suo margine sostiene la fune della berta, il di cui capo anteriore è attaccato ad un rampino, che sporge dalla parte superiore del maglio *M*, ed al suo capo posteriore sono in uno stesso punto congiunte molte funi, che formano una vetta a vari rami, ai quali vengono distribuite le persone destinate a tenere in esercizio il maglio. È questo l'ordinario artifizio che si usa per poter adoperar la forza di molti individui a tirare una medesima

fune per sollevare i pesanti magli nelle macchine di cui parliamo. Codesti magli sono ordinariamente grossi ceppi di quercia, lunghi da un metro e mezzo a due metri, fortificati, come già fu avvertito, di buone fasciature di ferro. Il peso di essi varia fra i 300, e i 500 chilogrammi, a seconda della grossezza dei pali, che debbono esser battuti, e della durezza del terreno in cui debbono penetrare.

§. 941. Quando gli uomini agiscono alla vetta d'una berta nella foggia testè spiegata, succede necessariamente che ben pochi son quelli, che impiegano proficuamente quasi tutta la loro azione, poichè il maggior numero debbono tirare non verticalmente ma bensì obliquamente, e ciascuno di tali conati obliqui si risolve poi in due, uno verticale e proficuo, l'altro orizzontale ed inutile per l'effetto d'alzare il maglio. Ed è chiaro che tanto maggiore è la quantità di forza che si converte in simili conati orizzontali ed inutili, quanto è maggiore il numero degl'individui agenti: numero che deve altronde essere proporzionale al peso del maglio. L'esperienza ha effettivamente dimostrato, che quando il maglio della berta non oltrepassa il peso di chilogrammi 300, può esser mosso agevolmente da quel numero d'individui, che risulta dall'assegnare a ciascuno di essi da sollevare un peso di 15, o 16 chilogrammi; mentre se il peso del maglio sia di chilog. 300 occorre un numero di persone tale, che ciascuna non abbia a sollevare più di 11 o 12 chilogrammi. Questo svantaggio, derivante dall'obliquità dei capi componenti la vetta della berta, può essere diminuito con ingrandire la ruotella, cui è addossata la fune principale: il diametro della quale ruotella può esser portato fino a m. 1,40; giovando poi anche la maggior grandezza di essa a diminuire la resistenza che proviene dalla rigidezza della fune, ed a far che la fune stessa si logori meno sollecitamente. Le ruotelle delle berte possono farsi di ferro fuso, o di bronzo. Con lo stesso fine di minorare lo sprego di forza, che procede dall'obliquità delle funi, si costruiscono delle berte a due ruotelle giacenti in due piani verticali, convergenti verso la fronte del castello, onde il maglio è sostenuto da due funi, che passono l'una sull'una l'altra sull'altra di tali ruotelle, e cadono quindi a formare due vette, ognuna delle quali si suddivide poi in vari capi. Tale organizzazione si ravvisa nella berta rappresentata in prospettiva nella fig. 453, e di cui esibiamo pure i disegni geometrici nella fig. 454, quali vengono addotti dall'Hachette (1), che dichiara d'averli avuti dallo Sganzin.

(1) *Traité élémentaire des machines*. Cap. III §. 29.

Codesta berta può produrre un effetto uguale a quello della già descritta, che fu impiegata al ponte di Neuilly, mentre ha la medesima altezza, misurata dalla ruotella, su cui si appoggia la fune; ma a confronto di quella ha una struttura più semplice e più leggera, ed è quindi atta ad essere traslocata con più prontezza e facilità.

§. 942. Si è pure praticato un altro espediente per evitare il prenotato discapito di forza, che nasce dall'azione obliqua degli uomini addetti a tirare la vetta di una berta semplice. Questo consiste nel disporre un cerchio all'estremità della vetta stessa, come si osserva nella fig. 455, dalla circonferenza del quale pendono verticalmente le funi, che debbono essere imbrandite dai manovratori. Ma in tal caso conviene che il castello sia costrutto in guisa tale, che dia uno spazio sufficiente per la libera salita e discesa di codesto cerchio; per lo che necessariamente deve diventar più pesante, ed incomodo a trasportarsi, di quello dell'altra berta precedentemente descritta. La figura dimostra la pianta e l'elevazioni d'una berta, di cui il Borgnis racconta (1) essersi prevalso a battere più di mille pali con buon successo, e con grand'economia. La ruotella $a$ è contenuta da un telaio orizzontale $b\,b\,b\,b$, cui servono di sostegno i due ritti verticali $c\,c$, $c\,c$, e i due inclinati $d\,d$, $d\,d$. I due primi sono rinfiancati dai puntelli, o *sproni* $e\,e$, $e\,e$; e tutti questi membri sostenitori sono fermati sopra un sistema di membri orizzontali, che costituisce la base del castello. Si scorge chiaramente la disposizione delle funi $f, f, f, f, \ldots$, che si partono dall'estremo $v$ della vetta, e formano una gabbia conica intorno al cerchio $m\,m\,m$, e quindi pendono verticalmente a basso. Il maglio $x$ può scorrere verticalmente incassato fra i due ritti $c\,c$, $c\,c$, ove è tenuto dritto nel suo movimento dai due perni $p$, $p$ di ritegno, che sporgono dai suoi fianchi. La ruotella $a$ è coperta da una volticella $s\,s$ cilindrica, e concentrica ad essa, fatta di legno sottile, ed assicurata sulle due estremità del telaio $b\,b\,b\,b$ mediante due zoccoletti $z$, $z$ fermati con perni a vite. Codesta volticella impedisce alla fune di sortire dal solco della ruotella; inconveniente che spesso succede nell'altre berte sprovviste di tale ritegno.

Assicura il prefato Borgnis d'aver provato in effetto che per l'anzidetta disposizione delle funi intorno alla vetta della berta, la forza di ciascuno degli uomini impiegati si rende capace d'un effetto maggiore d'un terzo di quello, che suol produrre nell'altre berte a funi semplicemente annodate intorno alla vetta, così che ciascun uomo può sollevare 20, o 21 chilogrammi di peso quando il maglio non eccede

(1) *Machines employées dans les constructions diverses* - Lib. II cap. IV.

chilog. 300, e ne può alzare 15, o 16 quando il pesdelo maglio è di 300 chilogrammi. Da che si deduce che la berta a cerchio esige l'impiego d'un numero d'individui minore d'un quarto di quello che occorre nell'altre berte semplici, cui lo stesso Borgnis distingue con la denominazione di berte *a nodo*; e che per conseguenza l'uso della berta a cerchio offre nella spesa dell'affondamento dei pali il risparmio d'un quarto di quella, che s'incontra con l'impiego delle berte a nodo.

§. 943. Nella manovra dell'affondamento dei pali mediante la berta semplice il lavoro giornaliero è della durata media di ore 10. Quando si prende a battere un palo si contano i colpi, e di trenta in trenta si fa breve pausa, non solo per far pigliar fiato ai travagliatori, ma anche perchè si calmi la trepidazione concepita dal palo, la quale diminuirebbe l'effetto dei colpi successivi. Ciascuna serie di trenta colpi seguiti chiamasi con pratica denominazione, derivata dal francese, una *volata*, e si eseguisce ordinariamente in tre o quattro minuti, compresa la breve pausa anzidetta, che suol essere di mezzo minuto. Nelle dieci ore di travaglio si sogliono battere cento venti volate; le quali effettivamente non assorbiscono che 480 minuti, o sia ott'ore di tempo al più, ed il resto si consuma nel trasportare, e mettere a segno i pali, e nel traslocare tutte le volte che occorre la berta. Nell'andamento regolare e continuato dell'operazione il maglio ad ogni colpo vien sollevato ad un'altezza media di m. 1,30, cioè da m. 1,50 a m. 1,10. Tali sono i risultamenti ordinari, che si ottengono nella manovra della berta semplice per la battitura dei pali. Effetti più vigorosi possono ottenersi talvolta, se per qualche circostanza accidentale si abbia motivo d'affrettare l'operazione, e gli operai agendo con insolita energia possono dare più frequenti colpi, e alzare il maglio a maggior altezza, animati dalla promessa di qualche premio. Ma simili sforzi straordinari non possono essere che di breve durata, ed in una operazione seguita sarebbe vano di far calcolo sopra risultati superiori a quelli, che derivano dagli ordinari elementi or dianzi fissati.

§. 944. Da quanto abbiam detto si deduce che il massimo effetto conseguibile in operazioni di qualche durata con la berta semplice, è quello che compete alla percossa d'un maglio del peso di chilog. 600, cadente da un'altezza di m. 1,30, o al più al più di m. 1,50. Ora avvengono dei casi nei quali codesta forza percuziente non basta ove si tratti di affondar grossi pali in un terreno di molta durezza; ovvero che è troppo scarsa per produrre un effetto non soverchiamente lento, e stentato. Son questi i casi pei quali è destinata la bertacapra, la quale ammettendo l'impiego di pesantissimi magli, ed aumentando ragguardevolmente l'altezza della caduta, è atta a produrre una percossa assai più vigorosa di quella, che abbiam veduto potersi ottenere con la

berta semplice. In generale nelle bertecapre la vetta va ad avvolgersi intorno al fuso d'un verrocchio, o d'un argano situato appiedi del castello nella parte posteriore; ed il maglio è attaccato al capo anteriore della fune mediante un uncino, ovvero una tanaglia, in sì fatta guisa che giunto all'apice della sua salita si rende libero pel giuoco di qualche opportuno meccanismo, e quindi piomba a percuotere la testa del palo sottoposto. Allora virando a rovescio il verrocchio, ovvero l'argano, si fa discendere il capo anteriore della fune, si allaccia di nuovo il maglio, e si ripete la percussione. Il meccanismo per cui il maglio è attaccato, e può prontamente staccarsi, quando n'è tempo, dalla fune, può essere di due sorte; vale a dire o tale che richiegga per se l'opera d'un uomo che ne promova, e ne regoli le funzioni, ovvero che agisca periodicamente per se medesimo in virtù del semplice impulso, che riceve dal maglio ai due termini della sua corsa. Nel primo caso consiste ordinariamente in un rampino, e chiamansi perciò *bertecapre a rampino* quelle, che hanno un meccanismo di questa sorta. Quando poi il meccanismo per cui succede il giuoco alternativo della presa, e del rilascio del maglio, è della seconda sorta, la macchina può avere il nome di *capraberta a scatto*. Sono poi le capreberte destinate ad esser mosse o a forza d'uomini, o a forza di cavalli, o finalmente a forza d'acqua; e quindi l'asse nella ruota, di cui generalmente vanno fornite, conviene che sia congegnato con l'organo, o con gli organi opportuni, onde possa concepire il movimento in virtù dell'una, o dell'altra dell'anzidette forze moventi. Addurremo qualche classico esempio di ciascuno dei suddistinti casi, onde possa aversi idea di tutte le diversità sostanziali, che possono occorrere nell'artificio della bertacapra; conosciute le quali poco o nulla importerebbe d'apprendere le tante forme e varietà di berte, che sono state proposte dai meccanici, o adoperate dai costruttori; e di cui ridondano tutte le collezioni di macchine, ed alcune moderne opere d'architettura.

§. 945. La fig. 436 offre i disegni d'una bertacapra a rampino, di cui fece uso il de Cessart nella fondazione del ponte di Saumur su la Loira (1). Al capo anteriore della fune vedesi attaccato il rampino levatoio *rr*, che afferra un anello sporgente dalla faccia superiore del maglio, e che all'altra estremità è legato da una fune, traendo la quale si solleva il rampino, ed esce dall'anello, onde il maglio rimane abbandonato, e discende a percuotere il sottoposto palo *P*. Il maglio è

(1) *Description des travaux hydrauliques de de Cessart*-Vol. I Sez. I artic. XXXXVII.

obbligato a scorrere fra le due guide $gg$, $gg$ verticali, che penetrano nei canali, o gargami appositamente incavati nei fianchi di esso. Il verrocchio $vv$ ha una ruota a piroli $RR$ (§. 832), avente m. 3,90 di diametro, sulla quale agivano otto manovali. Il maglio pesava 734 chilogrammi, ed in tre rivoluzioni della ruota era tirato a m. 1,95 d'altezza. Ma l'altezza della caduta poteva essere aumentata fino a m. 7, in proporzione della resistenza maggiore, che si opponeva all'affondamento del palo. Il numero medio dei colpi, che si battevano con somiglianti capreberte in una giornata di ore 14 lavorative, era di 119. Il numero de' manovali fu altre volte di 10, ed il peso del maglio fu variato giusta il bisogno, e ridotto talvolta a soli chilog. 587. Oltre gli uomini addetti a muover la ruota ne abbisognano due altri per regolare il giuoco del rampino, e per altre occorrenze accidentali della manovra. Nella figura la macchina osservasi disposta su d'un puntone, e siccome appunto fu adoperata nell'acque della Loira pel conficcamento de' pali nella fondazione del prefato ponte.

§. 943. Per la battitura dei pali nella fondazione del famoso ponte di Westminster fu adoperata una capraberta a scatto, inventata dal Vaulauè, uno dei più valenti oriuolai di Londra. In quella occasione la macchina veniva messa in azione a forza di cavalli, che si muovevano sopra un puntone galleggiante sull'acque del Tamigi. Ma posteriormente altra macchina d'uguale meccanismo fu impiegata in Francia per la rinnovazione del ponte di Séve nella via da Parigi a Versailles, ove il movimento venivale dato non a forza di cavalli ma di uomini (1). Non occorre di trattenersi intorno alla forma del castello di questa bertacapra, che abbastanza apparisce dai disegni, che se ne offrono nella figura 457. Meritano bensì particolar considerazione la tanaglia $abcd$ destinata ad aggrappare il maglio $m$, la quale vedesi delineata a parte in $X$ con una scala più grande di quella della figura; e l'argano $ef$, cui va applicata la forza motrice, e che separatamente osservasi disegnato in $Z$: dipendendo dalla forma particolare di questi due organi tutto l'artificio dello scatto per la presa, e pel rilascio alternativo del maglio. La tanaglia è inserta in una cassa, o *cappa* di ferro, o di bronzo $gh$, ed infilata nel perno $ii$, che traversa la cappa medesima, intorno al qual perno sono mobili le due branche $bc$ della tanaglia, tendenti a conservarsi nella posizione dimostrata dalla figura in virtù della forza elastica della molla interna $k$. Quando il maglio salisce è

(1) Belidor - *Architecture hydraulique* - Parte II lib. I cap. VIII.

sostenuto dalla tanaglia, afferrato dalle sue branche *bc* per un anello piantato nella sua parte superiore; ed è chiaro che in grazia dei risalti interni delle due branche il peso stesso del maglio tende a tenerle chiuse, e ad impedire che il maglio sfugga, ed abbandonato a se stesso precipiti a basso prima del tempo. Quando poi esso giunge all'apice della sua corsa i due manichi *ad* della tanaglia entrano in un'apertura circolare esistente nel capitello *no* del castello, il quale vedesi delineato appartatamente in *Y*, e dalle sponde della stessa apertura sono forzati ad accostarsi l'uno all'altro; laonde di necessità si aprono le branche *ee*, ed il maglio rimasto libero piomba a percuotere il palo sottoposto.

Il fuso dell'argano è diviso in due parti *e*, *f*, aventi uno stesso asse materiale; se non che la parte inferiore *e*, a cui vanno infilati gli aspi *p*, *p*, è fissa intorno ad esso, e la parte superiore *f*, intorno a cui si avvolge la fune, è mobile intorno all'asse medesimo, talmente che stando fermo l'asse, ed il tronco inferiore *e* del fuso, il tronco superiore *f* può girare, e può anche questo avere un movimento rotatorio, avendo il tronco inferiore un movimento rotatorio in senso contrario. Nella sommità del tronco *e* è formata una nicchia *qrst*, le di cui pareti verticali convergono verso l'asse geometrico del fuso, e ad una di queste pareti va imperniato il saliscendi a gomito *uvx*, che dalla molla *yz* è forzato a stare col braccio *uv* in positura verticale, e con l'altro *vx* in positura orizzontale; e che quindi non può distogliersi da questa posizione, se non che quando una forza estranea comprima a basso l'estremità *x* del braccio orizzontale. Nella posizione naturale di questo saliscendi l'estremità *u* del suo braccio verticale corrisponde ai denti *ll*, sporgenti dalla base del tronco superiore *f*, onde avviene che, impresso il movimento rotatorio al tronco inferiore *e*, il tronco superiore concepisce il movimento stesso, non altrimenti che se i due tronchi fossero stabilmente uniti, ed il fuso fosse tutto d'un solo pezzo. Quindi è che, mettendosi opportunamente in giro l'argano, il maglio vien sollevato, finchè la tanaglia incontrandosi nel capitello *no* succede il rilascio, nel modo che abbiamo già spiegato. Importa allora di far discendere la tanaglia affinchè vada di bel nuovo ad afferrare il maglio, onde replicar la percossa. A tale effetto non si ha che a spingere abbasso il braccio orizzontale *vx* del saliscendi, perchè così cessando il ritegno sul dente *l*, il tronco superiore *f* del fuso si rende indipendente dall'inferiore, e quindi sia che questo si ponga in quiete, sia che continui a girare, obbedendo quello al peso della tanaglia e della sua cappa *gh*, ruoterà a rovescio di prima, e discendendo verticalmente con impeto la tanaglia fra le due guide *GG*, *GG*, le quali negli stessi

gargami contengono le linguette laterali del maglio e della cappa, ed urtando l'unione delle sue branche nell'anello superiore del maglio, sono forzate ad aprirsi, e ad afferrar quindi nuovamente l'anello medesimo. Allora si rilascia il saliscendi, che si rimette spontaneamente nella naturale sua positura, e le cose sono tutte nuovamente in punto di poter rialzare il maglio, e reiterar la percossa.

§. 947. Ognun vede quanto sia semplice, e facile il descritto meccanismo. Lo scatto della tanaglia succede spontaneamente, e non esige veruna manuale cooperazione. Il giuoco del saliscendi può essere affidato alla cura d'alcuno de' manovali addetti all'argano. Per altro in questa foggia di bertacapra a scatto si ha lo svantaggio, che l'altezza della caduta del maglio è invariabile, e non può essere diminuita, quando anche talvolta si conoscesse bastevole un'altezza minore a produrre una percossa proporzionata alla resistenza, che il terreno oppone all'affondamento dei pali: e che minorando l'altezza della caduta si potesse ottenere il divisato effetto più speditamente, con dispendio più moderato, e con minor rischio di detrimento ne' pali per l'eccessiva violenza de' colpi. Le bertecapre a rampino (§. 945) sono commendevoli a questo riguardo, atteso che ammettono di far variare l'altezza della caduta del maglio a seconda del bisogno, potendo il rampino essere slacciato dal maglio a qualsivoglia stadio della sálita di questo.

Secondo i ragguagli del Labeylie architetto del ricordato ponte di Westminster, la bertacapra del Vauloué guarnita d'un maglio, che pesava chilog. 832, ed era sollevato all'altezza di m. 6,50, batteva quarantotto colpi in un'ora quando era mossa da due cavalli, e settanta colpi parimente in un'ora quando erano tre i cavalli attaccati all'argano. Ridotta alla metà l'altezza della caduta, cioe a m. 3,25, il numero de' colpi battuti in un'ora crebbe fino a trecento.

§. 948. Nella tante volte menzionata occasione delle fondazioni del ponte di Neuilly fu impiegata la forza de' cavalli a far agire una gran bertacapra a rampino, che vedesi delineata nella fig. 458. La struttura del castello differisce di poco da quella della bertacapra a rampino del de Cessart precedentemeute descritta (§. 945). La differenza essenziale del meccanismo in queste due macchine sta nella diversa forma delle ruote annesse al verrocchio. Nella bertacapra, di cui ora parliamo, destinata ad esser mossa da' cavalli, in vece della ruota a piroli fu congegnata al verrocchio una ruota a quarti incavati, talmente che intorno ad essa formavasi un solco largo 12 o 14 centimetri, e quindi capace di contenere a diversi giri la fune, a cui i cavalli dovevano essere attaccati. L'altezza del castello era di m. 11, il diametro della ruota di m. 3,30, il peso del maglio di chilog. 900. S'impiegavano in servigio

di questa macchina cinque persone e due cavalli. Una persona guidava i cavalli, i quali camminando in linea retta perpendicolarmente all'asse del verrocchio, tiravano la fune, facevano girare il verrocchio, e sollevavano il maglio; un altro individuo andava dietro ai cavalli per distaccarli dalla fune quando il maglio era caduto; due altri uomini erano occupati a voltare a ritroso la ruota dopo staccati i cavalli, onde raccogliere di nuovo intorno alla ruota la fune, cui si riattaccavano poscia i cavalli per replicar la percossa; finalmente al quinto individuo era affidato il giuoco del rampino. L'esperienza fece conoscere che in parità di circostanze una sì fatta bertacapra produceva l'effetto con una spesa meno della metà di quella che occorreva con l'impiego d'una berta semplice. La mano d'opera dell'affondamento d'un palo con la berta semplice costava franchi 13,75; mentre per battere un palo uguale in un terreno d'ugual consistenza mediante la bertacapra a cavalli non si spendevano che franchi 5,05.

§. 949. L'anno 1750 l'ingegnere Bartolomeo Ferracino, nella riedificazione del ponte di legno sul fiume Brenta a Bassano, concepì ed effettuò il disegno di far agire una bertacapra per la forza della corrente del fiume. Il movimento rotatorio, impresso ad una gran ruota ad ale, veniva da questa comunicato ad un rullo, che raccoglieva la fune sostenitrice del maglio, onde ne seguiva l'alzamento di questo, il di cui peso era di chilog. 702: consistendo esso in un ceppo di quercia della lunghezza di m. 4,17, e della grossezza di m. 0,58. Il maglio era appiccato alla fune mediante un rampino; ed alla sommità del castello era fissata una spranghetta di ferro talmente disposta, che quando in essa incontravasi il rampino doveva di necessità lasciare il maglio; laonde la bertacapra era in certo modo della categoria di quelle che abbiamo denominata a scatto (§. 944). E siccome l'altezza totale delle guide, fra le quali scorreva il maglio, era di m. 11,13, così l'altezza della caduta del maglio presa dal di lui estremo inferiore, allorchè esso era arrivato all'apice della sua corsa, doveva essere di circa m. 6,50. Ma l'accorto Ferracino, onde non esser costretto a far sempre salire il maglio a tanta altezza, quand'anche un' altezza minore potesse bastare a produrre una percossa valida a figgere il palo nel fondo del fiume, ordinò il rampino in guisa che potesse essere staccato dal maglio in qualsivoglia punto della sua corsa, col tirarsi d'una funicella legata al rampino medesimo; vale a dire con lo stesso artificio delle bertecapre a rampino unicamente tali (§. 945). Così era in arbitrio di chi presedeva alla manovra di limitare l'altezza della caduta, e di moderare per conseguenza l'impeto della percossa a seconda del bisogno.

La ruota ad ale girava continuamente: ma era essa col suo fuso

disposta sui propri sostegni in modo che poteva essere tirata avanti, e indietro, con un movimento di traslazione nella direzione del proprio asse. Il fuso di essa ruota si attaccava con una sua estremità al rullo, in modo, che quando erano così uniti ruotavano perfettamente d'accordo, come se l'uno e l'altro non fossero stati che un solo albero. Ma scansando alquanto la ruota si rompeva l'unione dei due argani, dei quali l'uno continuava a girare, e l'altro si arrestava: e poteva poi allora girare anche al contrario. E riaccostando la ruota si ristabiliva l'unione dei due argani, onde tornavano essi a muoversi di concerto.

Si teneva il rullo collegato alla ruota quando si voleva far salire il maglio; e quando poi questo veniva rilasciato, si separava allora la ruota dal rullo, si faceva girar questo a rovescio affinchè il rampino discendesse, e potesse di nuovo essere attaccato al maglio. Quindi si ricongiungeva la ruota al rullo, e si replicava la percossa. Tre individui soltanto occorrevano per tener in atto la berta. Uno di essi era destinato ad eseguire la congiunzione, e la separazione della ruota e del rullo; al secondo era consegnata la funicella perchè potesse staccare il rampino dal maglio quando questo era giunto ad un'altezza prefissa da chi dirigeva l'operazione; il terzo finalmente aveva l'incarico di riattaccare il rampino al maglio, affinchè questo potesse essere di nuovo sollevato. Quindi si scorge quanto economica doveva riuscire l'operazione. L'ammannimento del castello, e di tutto il suo corredo non costò che cento ducati veneti, e dopo che la macchina ebbe servito in quella occasione, per cui fu espressamente apparecchiata, si conservava tuttora in istato di poter essere impiegata in altre occorrenze. I pali, che furono affondati per servir di sostegno alle colonne componenti le stilate del predetto ponte di Bassano (§. 318), avevano circa m. 6 di lunghezza, ed una riquadratura di m. 0,29 (1).

§. 950. Posteriormente nella Francia alle fondazioni del ponte di Sainte Maxence sul fiume Oise, si dispose il fuso d'una gran ruota ad ale, mossa dalla corrente del fiume a sollevare due magli, del peso di 1000 chilogrammi per ciascheduno; e con tal mezzo furono cacciati sotto terra dei pali della lunghezza di m. 5, in un fondo di ghiaia, e di tufo. Ma sebbene nei mentovati due casi siasi applicata con buon successo l'azione della corrente a muover le berte per l'affondamento dei pali, tuttavia l'esperienza ha dimostrato, che ben di rado così fatto espediente può essere convenientemente adottato: atteso che esso richiede un apparato

(1) *Memmo - Vita e macchine di Bartolomeo Ferracino*. Venezia 1754, pag. 158 e seg.

voluminoso, pesante, e d'esecuzione difficile e dispendiosa: ed in oltre produce non lieve spesa, e perditempo tutte le volte che occorre di mutar luogo al castello, e di scomporre, e riaccozzare tutto il meccanismo, di mano in mano che affondato un palo si vuol procedere all'affondamento d'un altro. Ed in generale giustamente, riflette il Borgnis (1), l'impiego de' motori inanimati come riesce vantaggioso quando si tratta di macchine invariabilmente situate, e destinate ad un effetto regolare e continuo, così diventa svantaggioso allorchè le macchine debbono frequentemente mutar posto, quando l'effetto cui si aspira non deve avere un'intensità costante, e quando l'operazione deve soffrire frequenti, ed irregolari interruzioni. Così fatti temperamenti non possono essere nè approvati nè esclusi generalmente; e soltanto le particolari circostanze de' casi potranno dar lume all'avveduto architetto nella scelta del metodo più opportuno, e dei mezzi più efficaci, più spediti, e più economici pel conseguimento del divisato effetto.

§. 951. La fig. 459. presenta il disegno d'un verricello di particolare artificio, inventato dal Vauvilliers, da sostituirsi agli ordinari verrocchi nel sistema della bertacapra. Ad un'estremità del fuso *a*, al quale si avvolge la fune del maglio, è congiunta una ruota dentata *rr*, i di cui denti ingranano in quelli del rocchetto *c*. Ponendo degli uomini a girare codesto rocchetto mediante la manovella *m*, si comunica il movimento rotatorio alla ruota dentata *rr*, ed al fuso *a*, e quindi ne nasce l'ascensione del maglio. Allorchè questo è arrivato all'altezza, d'onde vuol farsi cadere, altro non occorre che di spingere orizzontalmente il vette *vv*, facendolo ruotare intorno al fulcro *f*, avendo il vette medesimo l'altra sua estremità connessa all'asse del rocchetto *c* in guisa tale che spinto, siccome si è detto, il vette da una parte, cessa il rocchetto d'ingranar nella ruota *rr*, e quindi non essendo più opposto verun ritegno o veruna forza al peso del maglio, questo discende senza staccarsi dalla fune, facendo ruotare il fuso al contrario di prima. Dato il colpo si rispinge il vette *vv* in senso opposto, e si porta di nuovo il rocchetto *o* ad ingranare nella ruota *rr*, e si rinnovella quindi l'alzamento del maglio per replicar la percossa.

Per l'artifizio di codesto verrocchio *retrogrado* il gioco della bertacapra si rende semplice e pronto: e non meno che nella bertacapra a rampino (§. 944), si ha il vantaggio di poter far variare l'altezza della caduta del maglio, secondo che abbisogna più o meno violenta la

(1) *Machines employées dans les constructions diverses* - Lib. II cap. IV.

percossa; poichè il rilascio del maglio stesso può succedere in qualunque punto della sua corsa, ad arbitrio di chi dirige la manovra. Ma il discender del maglio senza separarsi dalla fune produce due inconvenienti; uno che l'attrito del fuso sul proprio asse deve necessariamente ritardare la velocità della discesa del maglio, e la forza della percossa; l'altro che la fune deve andar soggetta a logorarsi assai più sollecitamente, che nell'altre bertecapre, ov'essa non sostiene il peso del maglio se non che nel periodo dell'ascensione di questo. Ai quali se ne vuole aggiugnere anche un terzo: quello cioè della trepidazione, che inevitabilmente deve suscitarsi nel castello, mentre il maglio discende, facendo ruotare violentemente il verricello. E siccome cotali inconvenienti si accrescono tanto più quanto più cresce il peso del maglio, così sembra che l'esperienza abbia mostrato che, onde non si rendano così eccessivi che valgano a turbare la regolarità e la speditezza della manovra, non si possa nelle bertecapre a verricello retrogrado ammetter l'uso di magli, che pesino oltre i 400 chilogrammi. L'esperienza ha pur fatto conoscere da un'altra parte, che l'effetto reale di simili magli nelle bertecapre a verricello retrogrado non giunge ad uguagliar quello, che se ne ottiene con le berte semplici. Per la qual cosa non vi è alcun titolo, che possa in verun caso render conveniente l'uso di queste bertecapre; a meno che qualche volta non potesse esser utile di sostituirle alle berte semplici in grazia delle ristrettezza del sito; poichè il meccanismo del verricello di Vauvilliers può ridursi a discreta grandezza: tale forse, che occupi meno di spazio di quello, che si richiede per la numerosa ciurma, che occorre a tenere in esercizio una berta semplice. Per un maglio di 400 chilogrammi la bertacapra a verrocchio retrogrado non richiede che l'impiego di cinque o sei individui.

952. Le dimensioni, e la distribuzione de' pali vengono determinate delle particolari condizioni de' casi, dipendentemente dalle circostanze locali, e de' vari fini, a cui può esser diretta la palificazione, in conformità delle massime spiegate a' luoghi opportuni ne' precedenti libri. La giusta situazione dei pali, corrispondentemente alla distribuzione stabilita nel progetto dell'opera, si ottiene per mezzo di processi geodetici facili a concepirsi, e ad effettuarsi. I pali si trasportano al sito, ove debbono essere affondati, o da manovali a spalla, ovvero, se sono di mole e di peso straordinario, col sussidio di veicoli, o di macchine opportune: si tirano in alto, e si pongono a segno, nel modo che si è già detto di sopra (§. 939). Per affondare i pali, allorchè le loro teste sono sotto il piano, sul quale può situarsi il castello, ovvero quando, come talora accade, debbono essere battuti a qualche profondità sotto il pelo dell'acqua, convien servirsi d'un palo posticcio, che si sovrappone

verticalmente alla testa del palo, che deve piantarsi, onde le percosse date su la testa di quello possano agire su di questo, nella stessa guisa che se il palo posticcio non fosse, che una porzione indivisa dal palo principale. In tal caso giova alla speditezza e alla regolarità dell'effetto che il palo posticcio sia fortificato con viere di ferro alle sue estremità, e che da quel capo, che deve congiungersi al palo principale, abbia un lungo perno di ferro, che possa infilarsi in un foro appositamente fatto sulla testa del palo, che si deve battere, onde ne risulti un innesto provvisionale, che assicuri il pieno e regolare effetto de' colpi. Se il palo aggiunto deve stabilmente rimanere unito all'altro di sotto, conviene allora, che sieno i due pezzi saldamente uniti con una giuntura a croce, e con cerchiatura di ferro (§. 242 n.° 10). Non è sempre necessario che i pali sieno battuti a rifiuto di maglio (§. 235); ma talvolta basta che giungano a penetrar nel terreno fino ad una certa profondità, ed è questo particolarmente il caso delle palafitte costrutte negli alvei de' fiumi in difesa, o in fortificazione delle ripe (§. 21). In simili occasioni si cessa dal battere quando ciascun palo è giunto con la sua testa ad una stabilita linea orizzontale; il che si riconosce con battute di livello riportate agli opportuni capisaldi segnati nei dintorni del lavoro. Quando poi i pali debbono essere spinti dentro terra fino a rifiuto di maglio, come generalmente è essenziale nelle palificate di fondazione (§. 385), non si deve desistere dal battere finchè non si verifichi il rifiuto, vale a dire finchè non si scorga che sotto i nuovi colpi il palo progredisce così poco ad affondarsi, che in una volta (§. 943) non avanza dentro terra più di quattro, o cinque millimetri. Convien per altro esser sicuri che il rifiuto sia reale, vale a dire proveniente dalla resistenza del fondo, e non da qualche ostacolo accidentale che il palo abbia incontrato nella sua via, o da qualche irregolarità del palo stesso. La sola pratica può insegnare a distinguere il rifiuto vero e stabile, dal rifiuto fallace e precario. A superar quelle resistenze, dalle quali deriva il secondo, possono giovare vari espedienti. Il più ovvio è quello d'ingagliardire la forza della percossa, aumentando sia il peso del maglio, sia l'altezza della caduta. Talvolta basta di sospendere per qualche istante la percussione, finchè il palo sia tornato perfettamente in quiete. E può pur talora accadere che la troppa violenza de' colpi sia la sola causa del rifiuto apparente, fenomeno non facile a spiegarsi, e che per conseguenza affievolando la percossa si riesca a far penetrar di più sotto terra un palo, che era rimasto immobile sotto più gagliardi colpi (1).

(1) Sganzin - *Programmes* ec. Lez. XIX.

I pali hanno ordinariamente le loro punte munite di cuspidi, o *puntazze* di ferro. Dato il caso che giunto un palo a qualche profondità la sua punta s'incontri in un sasso può accadere che questo resti infranto sotto la forza de' colpi; ma può succedere anche talvolta che presentando il sasso una faccia inclinata alla punta del cuspide, questa propenda a secondare l'inclinazione d'un tal piano, e quindi che il palo continuando a discendere, tenda a distogliersi dalla verticale. Se ciò avvenga fa d'uopo di obbligare il palo a continuare ad entrare verticalmente, per mezzo d'allacciature fermate al castello, o ad altri pali già battuti, ovvero di puntelli, o di sbadacchi ritenuti da saldi punti d'appoggio. Ma se il palo si è già inclinato, e si mostra restio alle cure che s'impiegano per raddrizzarlo, non vi è miglior partito di quello di estrarlo, e di ricominciarne la battitura con grand'attenzione, affinchè non si rinnovi il disordine. Ma sopra tutto conviene star cauti a prevenire sì fatti sconcerti procurando d'impedire ai pali di prendere una direzione cattiva; per lo che l'espediente più opportuno sarebbe quello di tenerli infilati entro robuste guide, come dicesi essere stato praticato dal Wiebeking nel piantar le colonne componenti le stilate de' suoi grandi ponti arcuati di legname, dei quali si fece menzione nel libro secondo.

§. 953. Per l'affondamento delle palanche negli incassamenti fondali (§. 383), nelle composizioni delle paratie (§. 412), o in qualsivoglia altra occorrenza d'idrauliche costruzioni, si fa uso de' magli semplici, ovvero delle berte, come si è detto pel conficcamento dei pali. Ordinariamente i motivi pei quali si costruisce una palancata sono tali, che rendono grandemente importante il perfetto congiungimento scambievole delle coste, o sia dei margini delle palanche. Al conseguimento di questo scopo debbono dunque essere rivolte tutte le cure nell'effettiva costruzione; al quale proposito troviamo commendato dal Gauthey (1) il seguente metodo, che si comprenderà più facilmente con la scorta della fig. 460. Due guide orizzontali *aa*, *aa* parallele, e distanti l'una dall'altra quanto importa, affinchè nell'intervallo possa aver passaggio la grossezza delle palanche, sono disposte secondo la direzione assegnata alla palancata, ed assicurate ai palchi provvisionali, o armature di servizio espressamente formate per le fondazione, e per la costruzione delle parti inferiori degli edifici nell'acqua (§. 407). Fra codeste guide debbono esser piantate le palanche; e per esser sicuri che queste si mettono perfettamente a contatto l'una dell'altra, si uniscono prima di batterle

(1) Gauthey - *Construction des ponts* - lib. IV. cap. III sez. I.

mediante le doppie traverse amovibili *tt*, *tt*. Tali traverse hanno alle loro estremità delle asole orizzontali *e*, *e*, *e*, *e*, . . . , mentre nelle palanche corrispondenti all' estremità delle traverse medesime sono intagliate uguali asole, ma verticali: onde il sistema si mantiene poi unito ficcandosi delle chiavarde nelle dette asole, in guisa che ciascuna chiavarda sia infilata nelle due corrispondenti asole orizzontali delle traverse, e nell' asola verticale della palanca interposta. Disposte in tal maniera le cose, s' incomincia dal battere le palanche intermedie dal sistema, e quindi a mano a mano le altre verso l' estremità delle traverse. Quando si giunge alle palanche estreme si estraggono le chiavarde, che le tenevano unite alle traverse, e s' infilano in altre asole espressamente fatte nelle traverse in corripondenza delle palanche attigue, in cui esistono, già fatte, le opportune asole verticali: e così liberate quelle palanche estreme, si battono come le altre. L' altre traverse doppie *uu*, disposte nella stessa foggia dalle superiori *tt*, *tt*, servono a collegare due sistemi o telai prossimi di palanche, onde l' artificio possa esser valido a produrre il divisato effetto per tutta l' estensione longitudinale della palancata.

§. 954. Furono già accennati i vari motivi, che possono rendere necessario di svellere dal terreno dei pali, che di recente, ovvero da qualche tempo addietro sianvi stati piantati (§. 934). La resistenza da superarsi per eseguir l' estrazione di un palo deriva dall' attrito della superficie del palo stesso nel terreno da cui è cinto, dipendente dal conato, che il terreno compresso esercita all' intorno per restituirsi alla primiera densità. Ma quando il palo ha dimorato lungamente dentro terra, sembra indubitato che la superficie di esso acquisti una certa coesione sul terreno circostante, per cui venga ad accrescersi la difficoltà dell' estirpamento. Ne sia prova che quando si tratta di svellere un palo affondato da lunga pezza, l' estrazione di esso viene non mediocremente facilitata se si dia qualche colpo di maglio su la sua testa; con che si distrugge appunto quella coesione, e la resistenza da vincersi si riduce semplicemente a quella anzidetta dell' attrito. Il metodo più ordinario di estrarre i pali consiste nell' impiego di un robusto vette combinato con un paranco, ovvero con un verrocchio. La fig. 461 dimostra come si possa procedere all' estirpazione d'un palo col semplice artificio di due verrocchi. Il primo di questi *p* agisce immediatamente sul palo mediante la fune *ff*: il secondo *s* agisce sul primo per mezzo della fune *gg* e dall' aspo *aa*; la potenza è applicata agli aspi o bracci *bb* dell' arganetto *s*. Egli è chiaro che la fune *ff* è tirata con forza maggiore dell' altra *gg*, e quindi convien che sia più forte di questa. Altre

disposioni dirette allo stesso fine vengono descritte dal Belidor (1), fra le quali è quella, che vedesi rappresentata nella fig. 462. Il palo $p$ incatenato alla vite $vv$ è forzato a sollevarsi quando si fa girare il dado a madrevite $m$ infilato alla detta vite, ed appoggiato al coperchio $cc$ della gabbia o armatura AA, il quale è forato nel mezzo, onde possa liberamente passarvi la vite $vv$. Codesto meccanismo offrirebbe invero una delle disposizioni più adattate a far sì, che da una piccola forza possa esserne vinta un' altra assai grande; se tale vantaggio non venisse in gran parte distrutto dall' eccessivo attrito del dado $m$ sul coperchio $cc$ della gabbia. A questo riguardo la macchina può esser corretta, solo che si renda immobile la vite, e mobile la madrevite inferiormente al coperchio della gabbia; nel qual caso il palo dev' essere incatenato non all' estremità inferiore della vite, come nella disposizione testè considerata, ma bensì al dado della madrevite. Così fatto espediente fu messo in pratica dal Ferregeau nell' occasione de' tasti, o esplorazioni del fondo per l' erezione del ponte dell' Arcivescovado a Lione l' anno 1774, e con tal mezzo si venne a capo di svellere un palo lungo m. 14, affondato tutto quanto dentro terra, anzi arrivato con la sua testa un metro sotto la superficie del suolo; ed una verga esploratoria (§. 822) che penetrava m. 17 sotto terra, e la di cui punta erasi storta ed incastrata fra due contigui strati naturali di roccia (2).

§. 955. Nella fig. 463 si offre il disegno d' un apparato divulsorio, di cui si valse il Lamandé ai lavori del porto di Sables d'Olonne. Due grandi vetti $vv$, $vv$, a ciascuno dei quali corrisponde un verricello $ss$, sono disposti, come si dimostra nel tipo, ad agire contemporaneamente per l' estrazione d' uno stesso palo. I paranchi $pp$, $pp$ sono destinati a rialzare i vetti quando è ad essi impedito di viepiù abbassarsi dai cavalletti, che contengono i verricelli; ed allora fa d' uopo di accorciare le catene, che tengono il palo attaccato ai vetti. Il maglio $m$ serve a percuotere la testa del palo, quando si conosca necessario a facilitarne l' estirpazione (§. 953). In generale gli apparati divulsori, che includono il meccanismo d' uno o di più vetti, riescono troppo voluminosi, e pesanti, e quindi malagevoli ad essere situati e trasportati, e rendono in oltre l' operazione pericolosa per le sinistre conseguenze che possono derivare dallo strapparsi di qualche fune. Sembra che a ragione il Borgnis (3) anteponga a qualsivoglia altra macchina per l' estirpazione de-

(1) *Architecture hydraulique*. Parte II lib. I cap. VI.
(2) Gautey - Nel luogo succitato.
(3) *Machines employées dans les constructions diverses* - Lib. II cap. VI.

pali la burbera bipartita, di cui un'altra volta spiegammo l'artificio, e le vantaggiose proprietà (§. 837). Dalla semplice ispezione della fig. 464 si può facilmente intendere come la burbera a fuso bipartito possa essere adoperata per l'effetto di cui parliamo. Quando il palo è sortito da terra fino ad un certo segno è necessario di allentare la fune, il che si ottiene virando alla burbera in senso contrario: e quindi si trasporta l'allacciatura del palo ad un punto più basso per poter continuar la manovra. Siccome poi la resistenza da vincersi è minore via via che il palo esce da terra, così quando la resistenza stessa si è ridotta ad un discreto valore, il che accade ordinariamente quando il palo ha percorso ascendendo lo spazio d'un metro circa, poca forza è sufficiente a continuare l'operazione, e basta allora d'adoperar la burbera bipartita alla foggia d'una burbera ordinaria, con che la manovra viene a rendersi assai più semplice e spedita.

§. 956. Per assoggettare il palo all'azione d'una macchina divulsoria, quando la testa di esso non sia coperta dall'acqua, il temperamento più opportuno si è quello di forarlo diametralmente presso la sua sommità, e d'infilare nel fuso un paletto di ferro, ai di cui estremi sporgenti si possa attaccare la fune, o la catena destinata a legare il palo alla macchina, come si osserva nella fig. 461. Ma quando la testa del palo, che si deve svellere è coperta dall'acqua, allora non è praticabile l'anzidetto espediente; ed il partito migliore che possa adottarsi si è quello di attaccare all'estremità della fune o della catena un collare di ferro, fatto di verga rettangolare, ed avente un diametro alquanto maggiore di quello del palo. Infilando codesto collare nel palo, esso si dispone obliquamente; e quando poi si tira la fune o la catena, a cui è unito, gli spigoli di esso intaccano la superficie del palo, ed è facile ad intendersi come la stessa forza traente operi a far sì che il collare stringa tenacemente il palo, e gli impedisca di sfilarsi.

§. 957. Da due diversi motivi può derivare la necessità di recidere attraverso dei pali affondati, ed emergenti più o meno dal terreno con le loro teste. Primieramente può occorrere di toglier l'impaccio dei pali, per render libero lo spazio sull'area in cui essi sono piantati, come per esempio qualora esistessero dei pali nell'alveo d'un fiume, o d'un canale navigabile, ovvero nel fondo d'un porto, i quali impedissero la navigazione, e ponessero in qualche pericolo le navi; ed allora quando non sia possibile o conveniente di eseguire l'assoluta estirpazione dei pali, non resta altro partito che quello di raderli presso il fondo in cui sono ficcati, non importando che la recisione in simili casi succeda regolarmente, e che rimanga al palo reciso una testa perfettamente spianata a livello, e giacente in un prescritto piano orizzontale. In

secondo luogo la recisione dei pali diventa assolutamente necessaria nelle palificazioni fondamentali, poichè è d'uopo che le teste dei pali componenti il sistema sieno tutte stabilite in uno stesso piano orizzontale, e perfettamente spianate a livello, onde possano disporvisi sopra le travi orizzontali, e la piattafoma con la maggiore regolarità e precisione (§. 384). Nell' uno e nell' altro dei motivati casi la recisione dei pali si eseguisce senza difficoltà per mezzo delle mannaie, e delle seghe ordinarie, sempre che l'operazione debba essere effettuata in luogo asciutto, vale a dire che i pali, che debbono essere recisi, non sieno sott'acqua. Ma qualunque volta debbansi tagliare attraverso dei pali dentro un'acqua corrente, o stagnante, che le circostanze non permettano di sviare, per poter eseguire a poco a poco l'operazione, conviene allora valersi di artifizi, o di macchine ordinate all' uopo di far agire uno scarpello, ovvero la lama d'una sega sott'acqua a qualche profondità. È questo il caso che qui dobbiamo particolarmente considerare.

§. 958. La fig. 465 dimostra l'artifizio, per cui sogliono tagliarsi sott'acqua i pali mediante uno scalpello, quando non è prescritto un punto in cui scrupolosamente importi di reciderli, nè si richiede che si formi al palo una testa perfettamente piana ed orizzontale. Lo scarpello *s* non differisce dagli usuali se non che per la sua maggior grandezza. Esso è fissato all'estremità d'un manico di legno *mm*, la di cui lunghezza giunge talvolta fino a sette, ed otto metri. L'estremità opposta del manico è fortificata con una buona viera di ferro *vv*. Un anello *a* di ferro è attaccato allo scarpello, dov'esso si congiunge al manico *mm*, ed a tale anello è legata una fune *ff*. La manovra si eseguisce ordinariamente da cinque uomini montati su di una barca, ovvero su di una zattera, ormeggiata in situazione opportuna. Prima di tutto si cala lo scarpello fino al punto in cui il palo dev'essere reciso, essendo a tal effetto graduato il manico *mm* con incisioni numerate, ovvero la fune *ff* per mezzo di semplici nodi. Ciò fatto si ferma la fune alla barca ovvero alla zattera, affinchè lo scarpello non possa scender oltre, e quindi uno degli uomini destinato a dirigere l'operazione impugna il manico, ed inclinandolo convenientemente, tiene spinto il taglio dello scarpello contro il palo, mentre gli altri quattro percuotono con un mazzapicchio l'estremità superiore del manico, e così volgendosi di mano in mano opportunamente la lama intorno al palo, e reiterandosi i colpi, si viene alla fine a troncare il palo alla stabilita profondità. Si asserisce (1) che con sì fatto metodo si possono radere dei grossi pali

(1) Borgnis · *Ibidem* · cap. V.

sott'un'altezza d'acqua di cinque ed anche di sei metri; e che a tale profondità, dove l'operazione sia affidata ad uomini esercitati, può ragguagliatamente calcolarsi che basti il periodo d'un'ora per la recisione di ciaschedun palo.

§. 959. Il più semplice fra tutti gli apparati diretti a far agire una sega sott'acqua, per recidere i pali in un perfetto piano di livello, è quello del quale si offre il disegno nella fig. 466. Nel darne una succinta descrizione noi supporremo ch'esso si trovi nella positura necessaria perchè possa essere messo in azione. La lama *ss* della sega è situata orizzontalmente all'estremità inferiore d'un telaio, formato di due membri verticali *rr*, *rr*, e di un'asta superiore orizzontale di ferro *aa*, la quale ha l'estremità fatte a vite, ed infilate nelle rispettive madreviti inerenti alle sommità de' ritti *rr*, *rr*: e codeste viti sono voltate in senso contrario l'una all'altra, talmente che secondo che si gira da una parte o dall'altra l'asta, le sommità dei ritti sono tratte ad avvicinarsi, ovvero spinte ad allontanarsi l'una dall'altra. Il detto telaio è sostenuto dalle due stanghe orizzontali *mm*, *mm*, congiunte ai due ritti mediante le due *fibbie* di legno *ff*, *ff*, fermate ad essi con perni di ferro a vite; e codeste stanghe formano telaio con tre traverse *nn*, *nn*, *nn*, cui sono saldamente unite ad incastro. Alla media di tali traverse sono fermati i due ritti *rr*, *rr*, mercè della squadra di ferro *oo*, la quale rende invariabile la scambievole distanza de' ritti nella linea in cui ad essi si congiunge, e fa sì che col girare da una parte o dall'altra dell'asta a *registro* superiore *aa* si può tendere, o allentare la sega a placimento, a seconda del bisogno. Due telai o armature di ferro, la di cui disposizione vedesi chiaramente nella figura, sostengono le due aste orizzontali *uu*, *uu*, parimenti di ferro, destinate a servire da impugnature, onde l'apparato possa essere spinto alternativamente avanti, e addietro da sei persone, applicate tre per parte. La macchina dev'essere disposta sul palco, appoggiandosi le traverse *nn*, *nn*, *nn* alle due guide *gg*, *gg*, poste stabilmente sul palco medesimo, su le quali esse possano liberamente scorrere con movimento rettilineo alternativo. Alle due estremità inferiori de' ritti *rr*, *rr*, fra le quali è contenuta la sega, sono attaccati due pezzi di fune, che si riuniscono poi in un solo capo *cc*, il quale è tenuto in mano da un carpentiere direttore della manovra. Posta pertanto la macchina a segno in corrispondenza del palo che si vuol recidere, egli è chiaro che imprimendosi il movimento alternativo al sistema, e quindi alla lama della sega, ed essendo questa spinta contro il palo dal capo carpentiere, che a tal uopo tira costantemente la fune *cc*, ne deve necessariamente seguire la recisione orizzontale del palo. Ai due ritti *rr*, *rr* si assegna la riquadratura di m. 0,14; le

stanghe, e le traverse possono farsi della riquadratura di m. 0,12. L'esperienza ha provato che col descritto apparato si riesce a recidere perfettamente i pali a livello, sempre che le guide *gg*, *gg*, sulle quali scorrono le traverse *nn*, *nn*, *nn*, sieno regolarmente disposte, in guisa che le faccie inferiori delle traverse medesime si mantengano costantemente in uno stesso piano orizzontale; e purchè i ritti *rr*, *rr* non discendano sotto le traverse più di m. 3 a dir molto.

§. 960. Nelle fondazioni del ponte di Choisy la recisione orizzontale dei pali fu eseguita per mezzo di seghe della forma testè descritta, maneggiate, come si è detto, da sei operai diretti da un mastro carpentiere. Il piano della recisione era m. 1,80 sotto la faccia inferiore delle traverse; i pali avevano da 32 a 35 centimetri di diametro. Il lavoro giornaliero durava dieci ore, ed in questo intervallo di tempo ordinariamente si radevano 22 pali, impiegandosi circa 25 minuti per l'effettiva recisione di ciascheduno, ed il resto del tempo, a compimento delle dieci ore, per le successive traslocazioni, e sistemazioni dell'apparato nei varî punti corrispondenti ai diversi pali che di mano in mano si dovevano recidere (1).

Anche nelle fondazioni del ponte di Jena, presentemente detto degl'invalidi, si fece uso di consimili seghe a castello, e furono per mezzo di esse tagliati a livello dei pali alla profondità di m. 2,70 sotto il piano superiore delle guide. La particolare conformazione dell'apparato che servì nella detta occasione trovasi minutamente descritta nell'opera dell'Hachette (2).

§. 961. Per recidere a livello i pali sott'acqua ad una profondità maggiore di quella, a cui giunge l'attività dell'apparato or dianzi descritto, che è di m. 3 al più (§. 958), è d'uopo di macchine di più implicato artificio. La storia dell'arte non ci porge alcun ragguaglio d'altra ragguardevole macchina di questo genere, anteriore a quella che fu adoperata dal Labeylie nell'erezione del rinomato ponte di Westminster; della quale ci studieremo di spiegare semplicemente il sostanziale artificio, con l'aiuto dei piccoli disegni che ne vengono offerti nella fig. 467. Il castello di questa macchina, presso che tutto di ferro, consiste in un telaio orizzontale *AAAA*, sotto cui è disposta l'armatura *BBBB* della lama dentata, o sega *ss*, guarnita di quattro manichi *oo*, *oo*, *oo*, *oo*, coi quali si appoggia alle due traverse *CC*, *CC*,

---

(1) Gauthey. *Construction des ponts*. Lib. IV cap. III. sez. I.
(2) *Traité élémentaire des machines*. Cap. III artic. 5o.

sostenute dai quattro perni $e$, $e$, $e'$, $e'$, fermati agli angoli dell'anzidetto telaio, talmente che l'armatura della sega può scorrere innanzi e indietro sopra tali traverse, e quindi la sega può concepire il necessario movimento rettilineo alternativo. I due ritti $rr$, $rr$, sorgenti dal mezzo del telaio, a cui sono saldamente uniti, rinfiancati dai sei sproni $uu$, $uu$, $uu$, $uu$, $uu$, $uu$, e concatenati da un capitello superiore $cc$; e da vari piroli orizzontali disposti a diverse altezze, sono destinati a fermare il telaio inferiore $AAAA$ al palo che vuolsi recidere alla stabilita altezza, in guisa che la sega possa su di esso agire, e raderlo regolarmente. Per tal effetto sono connessi ai detti ritti $rr$, $rr$, due collari orizzontali, uno superiore $mm$, l'altro inferiore $nn$; e sulla cima del capitello $cc$ s'innalza un anello $h$. Mediante quest'anello il castello si sospende alla taglia mobile di un paranco, e quindi si solleva fin tanto che il collare inferiore $nn$ sia giunto tant'alto, che possa essere infilato nel palo $PP$, che dev'esser segato; ed allora poi si allenta il paranco, facendo entrare il palo nel detto collare, e quindi nell'altro superiore $mm$, e si fa discendere il castello, finchè la sega $ss$ corrisponde al punto prescritto della recisione. Posta per tal modo a segno la sega, si ferma il castello al palo, stringendo le due viti $v$, $v$, appositamente congegnate nel collare superiore $mm$; dopo di che si procede all'effettiva operazione. Ai due lati estremi dell'armatura della sega sono legate due funi $ff$, $ff$, le quali sono portate a passare sotto i due rulli $bb$, $bb$, disposti come si vede ai due capi del telaio orizzontale $AAAA$; e quindi rivolte all'insù, per poter essere afferrate dalla ciurma destinata alla manovra, e dimorante sopra palchi, o sopra zattere saldamente ancorate in opportuna situazione. Venendo tratte, e rallentate a vicenda codeste due funi, è palese come la sega ne deve concepire il ricercato movimento alternativo. Ma acciocchè la sega possa incidere il palo, importa che nell'atto di essere agitata con movimento alternativo, venga pure costantemente spinta con una pressione uniforme inverso il palo; al qual fine opera il contrappeso $k$ pendente dalle due funi $iiiii$, $iiiii$, ciascuna delle quali passando rispettivamente sopra una ruotella $z$ alla sommità del castello, scende a ravvolgersi intorno all'altre ruotelle $a$, $t$, $d$, e vanno così a far capo ai due perni anteriori $e$, $e$, una da una banda, l'altra dall'altra del telaio. Ed intanto il vette $rr$, mobile intorno al punto $l$, con la sua estremità inferiore tiene spinto continuamente il palo contro il collare $nn$, regolandosi di mano in mano la sua inclinazione mediante l'altro vette $gg$, che si arresta a giusto punto in una dentiera intagliata a bella posta nello stesso vette $pp$.

§. 962. Nell'anzidetto ponte di Westminter non fu già impiegata la sega ora descritta per recidere dei pali di fondazione, giacchè le pile

di quel grandioso edificio furono fondate per mezzo di smisurati cassoni, senza veruna sottoposta palificazione (§. 391, 394); ma bensì per radere alla profondità di m. 4,22, e di m. 4,55, sotto il pelo del Tamigi delle lunghe colonne d'abete, grosse 35, 38, e talune anche 41 centimetri, le quali erano state piantate in giro intorno a ciaschedun cassone a distanza di m. 9,75 dal perimetro di esso, con lo scambievole intervallo di m. 2,27, a fine di preservare le fiancate dei cassoni, e dopo che queste sarebbero state rimosse, la fresca muraglia delle pile, dall'urto delle navi percorrenti il fiume. Ordinariamente la recisione d'una di tali colonne richiedeva non più che due minuti di tempo (1). Dopo sì solenne prova non può dubitarsi della validità dell' ingegnosa disposizione fin qui considerata all' uopo di segare orizzontalmente dei pali a molta profondità sotto il pelo dell'acqua con speditezza, e regolarità. Per altro ognun vede che l'impiego di codesto apparato non può essere generalizzato, mentre richiede essenzialmente che i pali abbiano una notabile lunghezza superiormente al punto in cui debbono essere recisi; e quindi non può convenire ai casi più frequenti nella pratica, quelli cioè in cui dei pali di fondazioni debbono esser tagliati sott'acqua a poca profondità sotto le loro teste.

§. 963. Questo fu il motivo principale che indusse i valentissimi costruttori de Voglio, e de Cessart ad immaginare una nuova macchina per segare i pali poco inferiormente alle loro teste, ed a molta profondità sotto il pelo dell'acqua; di cui felicemente si valsero nelle fondazioni del più volte ricordato ponte di Saumur. Codesta artifiziosa macchina è stata di poi adoperata con ugual buon successo in molte altre importanti occasioni; e quantunque al primo aspetto apparisca essa troppo composta, e che potrebbero idearsene altre di più semplice artifizio, tuttavia è da dubitarsi, a giudizio del Gauthey (2), che potesse esser proposto qualche altro apparato capace di produrre un miglior effetto, massimamente quando si tratta di recidere dei pali a profondità notabile sotto la superficie dell'acqua. Non c'impegneremo ad esaminare tutte le minute particolarità della sua organizzazione; noteremo soltanto con brevità la disposizione, ed il giuoco degli organi essenziali, di cui è composta, lasciando agli studiosi la cura di cercarne all'occorrenza un più completo ragguaglio nell'opere del de Cessart (3), dell'Hachette (4), e del Borgnis (5).

(1) *Construction des ponts* - lib. IV cap. III sez. I.
(2) *Description* ec. - Vol. I sez. 1 artic. XII e *seg.*
(3) *Traité élémentaire des machines* - Cap. III artic. 45 a seg.
(4) *Machines employées dans les constructions* - Lib. II cap. V.
(5) Le sage - *Recueil de mémoires sur les ponts et chaussées* - 1810 - Tomo II pag. 284.

Il meccanismo principale è contenuto in un castello *AAAA* (fig. 468), destinato a giacere orizzontalmente immerso nell'acqua, nel piano in cui dev'essere eseguita la recisione dei pali; e consiste in due vetti piegati a gomito *hlk*, *hlk*, mobili orizzontalmente intorno ai loro fulcri esistenti alle piegature di gomiti *l*, *l*. All'estremità *k*, *k*, dei bracci anteriori di tali vetti sono formati due anelli orizzontali, dentro i quali sono mobili due perni *e*, *e*, verticali, inerenti ai due fianchi del telaio *bb b'b'* della sega *ss*, la di cui spranga posteriore *bb*, mediante tre altri perni verticali *o*, *o*, *o*, può scorrere avanti e addietro lungo la traversa spaccata *uu*. L'estremità posteriori *h*, *h*, degli stessi vetti sono infilate negli anelli *r*, *r*, esistenti a due capi del regolo *mm*, capace di scorrere con movimento rettilineo alternativo nell'incastro, o canale *zz*. Da tale disposiziona risulta che impresso il movimento rettilineo alternativo al regolo *mm* si comunica un movimento circolare alternativo tanto ai bracci posteriori quanto agli anteriori dei due vetti *hlk*, *hlk*, ed un movimento rettilineo alternativo al telaio *bbb'b'*, ed alla sega *ss*. Le piattaforme *p*, *p*, *p*, *p*, son destinate a sostenere i bracci dei due vetti *hlk*, *hlk*, i quali si appoggiano, e scorrono su di esse mercè delle ruotelle inferiori situate nei punti *n*, *n*, *n*, *n*; il che giova ad evitare ogni inflessione verticale dei bracci dei vetti medesimi, ed a mantenerli costantemente nel piano orizzontale. Gli anelli *k*, *k*, debbono esser formati con tale curvatura interna, che i due perni *e*, *e*, nell'effettivo movimento dei vetti, sieno spinti costantemente in direzione parallela alla lama *ss* della sega. Il castello è fermato al palo *P*, che dev'essere reciso, mediante le due branche *ff*, *ff*, le quali possono essere aperte, e chiuse a piacimento col giuoco delle due articolazioni *a*, *a*. La sega col suo movimento alternativo incide il palo; ma affinchè possa a poco a poco penetrarlo, e reciderlo, è d'uopo che di mano in mano venga spinta inverso di esso. A tal effetto è destinato il meccanismo delle due ruote dentate *q*, *q*, e delle due righe a dentiere *dd*, *dd*; le prime stabilmente disposte fra due traverse fisse del castello, e mobili intorno a due assi verticali, le seconde costituenti due bracci d'un telaio unito ai fulcri *l*, *l* dei due vetti, e costituente con essi, e col telaio della sega, un sistema capace di muoversi con movimento progressivo verso il palo *P*, senza poter disviarsi nè da un lato, nè dall'altro, in virtù di due perni verticali in *l*, *l*, cui è libero di scorrere lungo gli spacchi *cc*, *cc* di due guide *gg*, *gg*, ma non possono però uscire dagli spacchi medesimi.

La fig. 469 mostra in prospettiva il fin qui descritto castello, col corredo di tutti i meccanismi necessari, onde possa essere messo in azione per mezzo di manovre eseguibili nel palco superiore *FFFF*. Primieramente sono da osservarsi le quattro aste verticali *ii*, *ii*, *ii*, *ii*.

per le quali il sopraddetto castello è sospeso al palco. Esse sono stabilmente fermate al castello; e sono poi infilate in altrettante corrispondenti aperture esistenti nel palco, presso ciascuna delle quali è disposto, come vedesi, il meccanismo $t$, composto d'una ruota dentata, d'un rocchetto, e d'una manovella. Un certo tratto dell'asta è guarnito di denti, che ingranano nell'attigua ruota dentata; laonde è chiaro che girando opportunamente le manovelle, l'aste corrispondenti possono essere tirate su e giù, e così il castello può essere con somma facilità alzato ed abbassato secondo il bisogno; ed orizzontato a qual l'altezza, a cui è prescritto che debbano essere recisi i pali. L'altre due aste $vv$, $vv$, sono con le loro estremità inferiori sì fattamente unite alle due branche $ff$, $ff$, che facendo girare opportunamente quelle in senso orizzontale, mediante i bracci $xx$, $xx$, si possono all'uopo aprire, e chiudere le branche, le quali, come si è detto, son destinate a tenere stretto il castello al palo che deve segarsi, in modo che la sega possa su di esso esercitare la sua azione. Le funi $jj$, $jj$, fermate a due anelli fissati ne' cosciali del palco, tengono stabilmente strette le branche nell'atto della recisione. I due vetti $yy$, $yy$ terminati, come si osserva, da impugnature poste a forma di $T$, sono connessi ad un sistema di vari altri vetti, disposti, come è facile di scorgere con la semplice ispezione della figura, in guisa tale, che venendo tirate, e spinte alternativamente le prefate due impugnature $TT$, $TT$, s'imprime il movimento rettilineo alternativo al regolo $mm$, da che deriva il movimento alternativo della sega. Finalmente l'asta verticale $ww$ altro non è che un prolungamento dell'asse materiale d'una delle due ruote dentate $q$, onde per mezzo del braccio orizzontale $\alpha\alpha$, che vedesi alla stessa asta superiormente unito, si promuove il gioco delle stesse ruote dentate $q$, $q$; e delle dentiere $dd$, $dd$, per tenere continuatamente spinta la sega contro il palo, ch'essa deve recidere. Il movimento del palco, o sia della piattaforma superiore, per trasferire la macchina da un luogo ad un altro, facendola scorrere sui ponti di servizio, è agevolato dai sottoposti rulli, o ruotelle $\omega$, $\omega$, $\omega$, $\omega$, $\omega$.

§. 964. A tenere in esercizio la macchina ora descritta bastano cinque individui; quattro dei quali sono addetti all'impugnature $TT$, $TT$, per imprimere il movimento alternativo alla sega, ed il quinto è intento a premere il braccio $\alpha\alpha$, come è d'uopo per ispingere avanti la lama contro il palco. Per l'effettiva recisione d'un palo del diametro di circa m. 0,27 non s'impiegavano al ponte di Saumur più che cinque o sei minuti di tempo; tuttavolta corrispondentemente ai risultati di molte sperienze fatte convien calcolare che ragguagliatamente occorrano 32 minuti di tempo per ciascun palo da recidersi, in grazia della lunga manovra che si

esige per trasferire la macchina da un palo all'altro, e per metterla a segno. E consegnentemente può stabilirsi che 18 pali prossimamente possano essere recisi con questa macchina in una giornata d'ore dieci lavorative. Per radere un palo avente nel punto della recisione un diametro di m. 0,38 l'effettiva manovra della sega dovette essere continuata per 13 minuti. Del resto tre mila e più prove fatte con somma facilità, e con più suddisfacente successo sotto gli occhi del de Cessart al predetto ponte di Saumur, al porto di Roüen, e nelle fondazioni del ponte del Louvre, hanno autenticato decisivamente la virtù, e l'utilità della macchina stessa, e ne hanno reso commendabile l'uso ne'casi più difficili dell'arte edificatoria.

La gran macchina da segare, di cui si fece uso al ponte di Saumur, costò secondo i calcoli del de Cessart 410 scudi romani circa. Tutto l'apparato insieme coi cinque manovratori pesava chilogrammi 5874 circa; nel qual peso erano contenuti chilog. 1020 di ferro, chilog. 17 circa d'ottone, e chilog. 14 circa di rame, costituenti le parti metalliche del castello, e tutti i descritti meccanismi di cui la macchina era composta.

§. 964. Sarà utile di apprendere il metodo tenuto dal de Cessart al summenzionato ponte di Saumur per montare la macchina in servizio di ciascheduna delle pile, e per ismontarla allorchè era compita la recisione dei pali d'una pila, ed era d'uopo che l'apparato venisse trasportato altrove. Sul gran ponte di servizio eretto intorno alla pila veniva primieramente situato il palco, o sia la piattaforma superiore della macchina, e si facevano discendere ugualmente le quattro aste principali, fino a poca distanza sopra la superficie dell'acqua. Quindi il castello inferiore, con tutti i meccanismi destinati ai vari effetti già spiegati, era caricato sopra due battelli accoppiati, trasportato sotto il palco superiore già allungato, e quivi disposto in perfetta corrispondenza di esso; ed intanto quattro operai contemporaneamente attaccavano al castello le quattro estremità dell'aste anzidette nei punti destinati, con appositi perni a copiglie. Allora allontanate le barchette la macchina si trovava in ordine di essere calata a segno, ed orizzontata per eseguire la recisione. Quando poi occorreva di smontare l'apparato, si tirava su il castello a giusta altezza sopra il pelo dell'acqua, vi si guidava sotto la solita coppia di barchette, si toglievano le copiglie, ed i perni che congiungevano l'estremità inferiori dell'aste al castello, e questo caricato sulle barchette si trasportava in altro luogo secondo il bisogno. La piattaforma superiore isolata poteva facilmente essa pure esser trasportata per mezzo di barche da un luogo all'altro.

Per poter orizzontare perfettamente il castello importa che sia ben orizzontata la piatta forma; il che può facilmente conseguirsi col sussidio di semplici livellette ordinarie a bolla d'aria (1); ed allora la cosa si riduce a far sì che l'aste sostenitrici del castello sieno tutte calate alla stessa profondità sotto il piano della piattaforma. Per la qual cosa giova che l'aste medesime sieno graduate in iscala metrica numerata. Il piano della recisione dei pali, fissato già nel progetto dell'opera, si ritrova a volta a volta con opportune bolle di livello legate a sicuri capi saldi, preventivamente stabiliti per servir di riscontro nell'effettiva determinazione dell'altezza delle varie parti della costruzione.

---

(1) Comodissima è la livelletta in molte occorrenze della geodesia, e dell'arte delle costruzioni. Se un tale istrumento sia, o no, rettificato può agevolmente esplorarsi sopra un piano comunque non orizzontale (*). Ma quando occorre di rettificarlo, se non abbiasi all'uopo un piano orizzontale, o se non altro una linea orizzontale data su d'un piano inclinato, troppo imbarazzante e non sempre praticabile è quell'unico espediente che troviamo insegnato per eseguirsi la rettifica. Sia permesso d'addurne qui un altro semplicissimo, e praticabile sopra qualunque piano inclinato. Si cerchino sul piano due posizioni della livelletta $XZ$ (fig. 470), ove la bolla si mantenga al suo segno, cioè nel punto di mezzo della parte scoperta del tubo di vetro; e si segnino sul piano le due linee $AB$, $CD$, corrispondenti a tali due posizioni della livelletta, il concorso delle quali sia in $E$. Da questo si prendano due porzioni uguali $EM$, $EN$ sulle rette $AB$, $CD$, e si tiri la linea $MN$. Questa sarà orizzontale, e per mezzo di essa la livelletta potrà essere speditamente rettificata.

---

(*) Bordoni - *Trattato di geodesia elementare* - Parte IV, prop. I.

# LIBRO QUINTO

## DELLE STIME

### CAPO PRIMO

*Nozioni, e criteri fondamentali.*

§. 965. La stima è un complesso d'operazioni analitiche, per cui si determina la spesa necessaria per la costruzione d'una fabbrica, o per l'esecuzione di qualsivoglia lavoro. Codesta investigazione deve generalmente precedere l'eseguimento dell'opera; poichè è regola comune, ed importantissima di prudenza che nulla debbasi intraprendere, se prima non si è pienamente conosciuta l'entità dell'impegno, e bilanciata questa con l'importanza del fine proposto, coi vantaggi conseguibili, e soprattutto coi mezzi pecuniali, di cui si può disporre per la divisata impresa. Tuttavia accade talune volte che per la necessità, o pel desiderio d'accelerare l'effettuazione dell'opera ne viene posticipata la valutazione; ma ciò non deve produrre diversità alcuna nel metodo della stima, il quale deve essere sempre lo stesso, fondato sopra questi principii, e sui più verosimili dati dell'esperienza, e non mai sulle spese effettivamente occorse, le quali, o per qualche imprevedibile accidentale risparmio, ovvero per qualche frode, o per difetto di buona ed economica direzione possono riuscire minori o maggiori di quelle, che risultano da una stima regolare.

§. 966. Il costo d'una fabbrica, o d'un lavoro di qualunque sorta, generalmente consiste nella spesa occorrente per l'effettiva costruzione, aggiunta al valore del fondo, vale a dire dell'area che si deve occupare, e talvolta anche di qualche edificio su di essa esistente. Quindi nella stima si contengono due distinti articoli, la costruzione, e l'*occupazione*. In due separate sezioni ci faremo ad esporre i principii, e le regole per procedere ad una giusta valutazione così dell'uno, come dell'altro de' motivati articoli.

§. 967. Per fare la stima d'una fabbrica, o d'opera qualunque, è necessario d'avere una chiara e minuta cognizione di tutte le varietà di lavori da eseguirsi, dei metodi, e delle condizioni tutte da osservarsi per la perfetta esecuzione. Ond'è che le stime possono a giusto titolo riguardarsi come costituenti la pietra del paragone dell'arte degl'ingegneri. Stabilito

il fine che si vuol conseguire: conosciute tutte le circostanze locali, e premesse a tal uopo quelle operazioni geodetiche, e quelle ricerche, ed esplorazioni che possono essere necessarie: fissate le condizioni tutte da osservarsi dipendentemente da tal fine, e da tali circostanze, i lumi dell'arte, e gli esempi ben appropriati, conducono l'architetto a compire mentalmente il disegno dell'opera; e questo poi con attento studio si perfeziona, ordinatamente assegnando la struttura, le forme, le dimensioni, la disposizione di tutte le parti, e prefiggendo l'ordine, ed il metodo di tutte l'operazioni esecutive. Tutti questi capi vengono esposti in una distinta ed accurata relazione, che s'intitola *piano* dell'opera, ad illustrazione del quale si aggiungono tutti quei disegni geometrici, che possono essere richiesti dalla natura dell'opera stessa. Fatto il piano de'lavori se ne intraprende la stima, la quale deve procedere sulle tracce del piano, ed essere ordinata non solo a far palese il costo complessivo dell'opera, e quelli delle varie parti che la compongono, ma ben anche tutti i dati elementari, che hanno servito di base alle diverse valutazioni.

§. 968. Quando si tratta d'imprese di maggior entità, è ben fatto di differirne il piano finchè ne sia stata decisamente conosciuta la convenienza, e decretata l'esecuzione. A tal uopo si premette un *progetto*, o sia una ragionata proposta, in cui si spiega lo scopo prefisso, e si dimostra la corrispondenza dell'opera che si propone allo scopo medesimo, si offrono i tipi generali dell'edificio, o del lavoro divisato, se ne annunciano le principali forme, e dimensioni, se ne dimostra la disposizione, l'ordinamento delle parti, e la struttura, e le forme di spese, si espongono le difficoltà inevitabili, ed i mezzi opportuni a superarle; ma tutto questo in un modo generico, e senza entrare nelle minute particolarità. E siccome il progetto intende a far manifesta la convenienza dell'opera proposta sotto tutti gli essenziali rapporti, così è necessario che non solo esso contenga una compendiosa dimostrazione della spesa presuntiva, ma che faccia pure ravvisare per mezzo d'opportuni calcoli comparativi il vantaggio economico risultante dal prescegliere l'opera proposta, a competenza dell'altre, che potessero ugualmente corrispondere al fine, ed alle condizioni richieste. Laonde è d'uopo d'aver calcolati da prima separatamente gl'importi rispettivi delle varie opere, che potrebbero ugualmente soddisfare allo scopo, cioè determinato per ciascuna di esse il costo della primitiva costruzione, e le successive spese annuali che occorreranno per mantenerla in buono stato, che sono quelle che diconsi spese di manutenzione; ed è pur necessario di avere assegnata con ragionevoli induzioni la durata presumibile di ciascheduna di tali opere. Dopo di che come debba istituirsi il confronto

dell' opere stesse, per iscorgere quale meriti la preferenza in ordine all' economia, sarà il soggetto delle seguenti considerazioni.

§. 969. Sia $s$ la spesa di prima costruzione, e $c$ il costo dell' annuale manutenzione d' un' opera progettata, la quale presuntivamente possa durare anni $n$; passati i quali sia necessario di ripristinarla, e così periodicamente in perpetuo. Egli è chiaro che chiunque assuma l'impegno di costruire, e di mantenere in perpetuo codesta opera, obbliga in sostanza il capitale equivalente alla somma $s$ da sborsarsi immantinente, e quindi periodicamente di nuovo ad ogni $n.^{mo}$ anno, e più al canone annuo perpetuo $c$. Codesto capitale che denomineremo $C$ costituisce dunque il vero prezzo dell' opera. Per determinarne il valore convertiamo prima la somma $s$, che dev' essere sborsata al principio di ciascun periodo d' anni $n$, in un canone $z$ pagabile alla fine di ciascun anno del periodo medesimo. A tal effetto rappresenti $y_x$ il capitale equivalente a tutti i canoni $z$ che resteranno a pagarsi, allorchè saranno decorsi $x$ anni del periodo; onde $y_{x+1}$ rappresenterà poi il capitale equivalente alle somme annue pagabili dopo l' anno $x+1$. Ciò posto, chiamando $r$ l' aggregato dell' unità pecuniaria e del frutto, o interesse legale annuo di essa, si ha immediatamente l' equazione alle differenze finite $y_{x+1} = ry_x - z$, la quale integrata dà $y_x = Ar^x - \frac{z}{1-r}$. Ora, poichè quando $x=0$ dev' essere $y_x = s$, se ne deduce $A = s + \frac{z}{1-r}$, e quindi $y_x = sr^x + \frac{z(r^x-1)}{1-r}$. E siccome facendo $x=n$ deve risultarne $y_x = 0$, così ne deriva finalmente l' equazione $sr^n + \frac{z(r^n-1)}{1-r} = 0$, d' onde si ricava $z = \frac{sr^n(r-1)}{r^n-1}$. È questo dunque il valore del canone perpetuo equivalente alla prima, ed alle successive periodiche spese di rinnovazione dell' opera. Volendo accumulare con questo canone l' importo annuo $c$ della manutenzione, converrà aggiugnere al valore $z$ non la somma $c$, ma sibbene $cr$, giacchè la somma $c$ è d' uopo che sia anticipatamente pronta al principio di ciascun anno, e calcolandola alla fine dell' anno è forza di tener conto dell' interesse corrispondente. Si conclude che la costruzione, e la perpetua conservazione dell' opera equivalgono complessivamente ad un canone annuo

$z + cr = \frac{s r^n (r-1)}{r^n - 1} + cr$, e quindi ad un capitale $C = \frac{r^n s}{r^n - 1} + \frac{c r}{r-1}$,

il quale come si è detto esprime il vero costo dell'opera.

Qualora dunque sieno proposte diverse opere dirette ad un medesimo fine, determinando i rispettivi valori di $C$, si verrà a conoscere il costo vero di ciascheduna, e quindi apparirà quale di esse sia quella che offre una maggiore economia.

§. 970. Può talvolta accadere che l'annua spesa di manutenzione di un'opera progettata non sia costante, ma diversa nei diversi anni del periodo della sua durata. In tal caso l'importo della manutenzione di ciaschedun anno si converte separatamente in un canone perpetuo, e quindi sommati insieme tutti i canoni parziali corrispondenti alle manutenzioni dei diversi anni del periodo, ed aggiuntovi il canone perpetuo equivalente alla spesa di prima costruzione, e di periodica ripristinazione dell'opera, se ne forma un canone collettivo, il di cui capitale esprime il vero costo dell'opera. Sieno $c'$, $c''$, $c'''$, ...., $c^{(n-1)}$, $c^{(n)}$ le spese di manutenzione appartenenti agli anni 1.°, 2.°, 3.°, ... $(n-1)$.$^{mo}$, $n$.$^{mo}$ del periodo, e ritenute l'altre precedenti denominazioni, dicasi $C'$ il costo vero dell'opera. Si troverà

$$C' = \frac{r^n s + r^n c' + r^{n-1} c'' + r^{n-2} c''' + \ldots + r c^{(n-1)} + r c^{(n)}}{r^n - 1},$$

il qual valore di $C'$ immediatamente si converte in quello di $C$ poco anzi trovato, quando si supponga $c' = c'' = c''' = \ldots = c^{(n-1)} = c^{(n)}$.

§. 971. Vi sono alcune sorte di opere, le quali sebbene abbiano una durata temporanea, e quindi sia d'uopo di ripristinarle periodicamente dopo un certo numero d'anni, tuttavia le successive ripristinazioni importano una spesa diversa da quella dell'originaria erezione, derivando un aumento di spesa dalla necessità di demolire la vecchia costruzione, ed un risparmio dal valore di quei vecchi materiali, che si ritraggono, in istato di poter esser messi nuovamente in opera. In questo caso, se si chiami $S$ la spesa della prima costruzione, $S + T$ l'importo di ciascuna periodica rinnovazione, potendo la quantità $T$ esser talvolta positiva, talvolta negativa, è chiaro che il vero costo dell'opera, tanto nell'ipotesi che l'importo della manutenzione annua sia costante (§. 969), quanto in quella che la spesa di manutenzione vari da un anno all'altro (§. 970), si otterrà, mettendo nell'espressione di $C'$, ovvero in quella di $C$, la

quantità $S+T$ in luogo di $s$, e sottraendo quindi da ciò che ne risulta la quantità positiva, o negativa $T$.

§. 972. Ordinariamente la spesa di manutenzione è nulla nell' anno della costruzione, e così pure in tutti quelli delle successive periodiche rinnovazioni dell' opera. Questa circostanza esige una corrispondente modificazione nella formola precedentemente determinata. A tale riguardo non si richiede che di porre $c'=0$ nel valore di $C'$ (§. 970). Nel valore poi di $C$ (§. 969), dove non è praticabile questo semplice ripiego, convien ricorrere ad altro espediente; e questo consiste nel sostituire nel detto valore di $C$ la quantità $s-c$ in luogo della quantità $s$. Con tale cangiamento si ottiene $C=\frac{r^n(s-c)}{r^n-1}+\frac{cr}{r-1}$; e questa sarà la formola da usarsi nella generalità dei casi.

§. 973. Gioverà d'illustrare questa materia con qualche esempio. Sia proposto d' indagare se in punto d' economia sia più conveniente di selciare, ovvero d' inghiaiare una strada nella larghezza della sua carreggiata, che si suppone di m. 5, costando la selciata scudi 0,80 il metro quadrato, ed essendo il costo dell' inghiaiata di scudi 1,50 il metro cubo; presumendosi che la struttura selciata possa durare anni venti senza veruna spesa di manutenzione nei primi otto anni, e col disfacimento, e rifacimento d' un ventesimo dell' area selciata in ciascuno dei residuali dodici anni; e che l' inghiaiata possa durare in perpetuo mediante un riporto annuo di ghiaia dell' altezza ragguagliata di m. 0,02 sopra tutta la superficie della carreggiata. La spesa di disfacitura della selciata si suppone compensata dal valore dei vecchi materiali che se ne ricavano; e ciò tanto nelle riparazioni, quanto nelle successive periodiche rinnovazioni. L' inghiaiata nella sua prima costruzione si prefigge che debba avere l'altezza di m. 0,35.

Per conoscere il vero importo della selciata nell'estensione longitudinale di un metro, convien determinare il valore di $C'$ (§. 970), facendo $s=4$, $c'=c''=c'''\ldots=c^{(VIII)}=0$, e $c^{(IX)}=c^{(X)}=\ldots=c^{(XIX)}=c^{(XX)}=\frac{4}{20}=0{,}200$, e ponendo $r=1{,}05$. Fatte le sostituzioni, ed eseguiti i calcoli numerici, si trova $C'=8{,}564$, vale a dire che il vero costo di ciascun metro andante di selciata, sulla stabilita larghezza di m. 5, è di sc. 8,564.

Per trovare il vero costo dell' inghiaiata nell' unità di lunghezza, nella stessa larghezza di m. 5, nella prescritta altezza di m. 0,35, da conservarsi con l' annuo supplemento di m. 0,02, ci serviremo della formola $C=\frac{r^n(s-c)}{r^n-1}+\frac{cr}{r-1}$, mettendo in essa $s=2{,}625$, $c=0{,}156$,

cioè al prezzo dei due centimetri di ghiaia, più sc. 0,006 per la sfangatura, che dev'esser premessa allo spandimento della ghiaia stessa; ed $r = 1,05$, come sopra, e finalmente $n = \infty$. Ciò posto ne risulta $C = 5,745$; il che significa che il costo vero d'un metro andante d'inghiaiata è di sc. 5,745.

Codesti risultati dimostrano che adottando la struttura inghiaiata a preferenza della selciata si otterrebbe nell'assunta ipotesi un risparmio reale di sc. 2,819 per ciascun metro longitudinale, o sia di sc. 2819 per ogni miglio moderno di m. 1000.

§. 974. Applichiamoci ad un altro esempio. Per condurre una strada attraverso l'alveo d'un fiume si hanno due progetti, uno per un ponte di legno, l'altro per un ponte d'opera murale. L'importo dell'erezione del primo è calcolato di scudi 12000; presumendosi ch'esso possa durare anni 30, purchè sia convenientemente ristaurato a due determinate epoche, cioè l'anno decimo quinto, e l'anno vigesimo quarto, dopo la sua costruzione, la prima volta con l'impiego di scudi 1000, la seconda volta con la spesa di scudi 2000; e che dopo trent'anni occorra per rinnovarlo una somma uguale a quella della prima costruzione, venendo compensata la spesa della demolizione dal valore del legname che ne verrà ricavato. Il costo primitivo del ponte di muro si valuta scudi 35000, e si suppone che la fabbrica possa durare in perpetuo, qualora venga periodicamente ristaurata di venti in venti anni, calcolandosi l'importo de' restauri occorrenti a ciascuna di tali epoche di scudi 2000. Si cerca il vero importo di ciascuna delle due opere, onde conoscere quale di esse debba anteporsi quando voglia conseguirsi l'intento col minimo dispendio.

Il vero costo del ponte di legno si otterrà facendo nel valore di $C'$ (§. 970) $s = 12000$, $n = 30$, $c^{xv} = 1000$, $c^{xxiv} = 2000$, ciascuna dell'altre somme annuali di manutenzione $= 0$, ed $r = 1,05$. Fatto il calcolo numerico si trova $C' = 17116,343$; e questo è il numero degli scudi costituenti l'importo vero del ponte di legno.

Per avere il costo vero del ponte di muro si prenderà il valore di $C$ (§. 972), quale risulta ponendo in esso $s = 35000 - 33000$ (§. 971), o sia $s = 2000$, $n = 20$, $c = 0$, e secondo il solito $r = 1,05$, e si aggiugnerà poi a tal valore la somma di scudi 33000. Si deduce quindi che il vero importo del ponte d'opera murale sarebbe di scudi 36209,643.

Si concluderà dunque che il ponte di muro a rigore di calcolo verrebbe a costare scudi 19093,300 più del ponte di legname.

# SEZIONE PRIMA

## STIMA DELLA COSTRUZIONE

## CAPO II.

### *Massime generali.*

§. 975. Per procedere con ordine e con ispeditezza nella stima d'una fabbrica, ed in generale di qualsivoglia opera architettonica, giova di distinguerla nelle varie classi, e nelle varie specie d'opere componenti. Fatta codesta separazione la stima si riduce a tre capi d'operazioni, che sono i seguenti.

1.° Determinare il quantitativo delle varie specie d'opere, e dei lavori dipendenti in misura, ovvero in peso, ovvero anche talvolta semplicemente in numero, secondo l'indole particolare di ciascuna di esse; vale a dire secondo che per la rispettiva indole talune specie d'opere, e di lavori costano a proporzione o del loro volume, o della loro superficie, o della semplice loro estensione longitudinale: alcune altre valgono proporzionatamente al loro peso: talune finalmente hanno un costo per così dire individuale, dipendente o no dalle loro dimensioni. Così per esempio le quantità dei tagli, e dei riporti di terra, come pure delle muraglie, convien che sieno determinate in volume; gl'intonachi, i pavimenti, le coperture dei tetti, la segatura delle pietre, e del legname debbono determinarsi a misura superficiale; pei travi e pei travicelli destinati ad esser membri de'vari sistemi di legname, basta che si determinino le rispettive lunghezze; delle parti metalliche, che occorrono nelle costruzioni degli edifici e delle macchine, importa che ne sia conosciuto il peso; per ultimo dei pali da fondazione, e di molte sorta d'articoli di legname, di pietra, o di metallo, può bastare che ne sia dato il numero: come anche d'alcune fatture, quali sono le congiunzioni del legname, e le saldature dei ferramenti. Importa per altro che nel piano sieno tutte minutamente prefisse le dimensioni d'ogni parte dell'opera, tanto per norma dell'esecuzione, quanto per poterne analiticamente dedurre gl'importi corrispondenti.

2.° Calcolare distintamente il costo dell'unità di misura, o di peso, o di numero, che è quello che dicesi *costo elementare,* di ciascheduna delle varie specie d'opere componenti.

3.° Moltiplicare la quantità già trovata di ciascuna specie pel rispettivo costo elementare, a fine di determinarne il parziale importo; e quindi fare la somma di tutti gl' importi parziali, la quale esprimerà l' importo generale dell' opera.

§. 976. Per l' anzidetta distinzione d' operazioni il processo effettivo d' una stima, e l' ordinata esposizione in iscritto del processo medesimo, che dai moderni pratici s' intitola *dettaglio estimativo*, si divide in tre parti. La parte prima consiste in una completa, ed ordinata ennunciazione dei quantitativi delle diverse parti dell' opera, distinte classe per classe, e specie per ispecie, dedotti dalle rispettive dimensioni ad esse assegnate, e per quanto è possibile con una successione corrispondente a quella con cui vennero riferite nel piano. I francesi durante il vecchio sistema metrico davano il titolo di *toisé* a questa prima parte del dettaglio estimativo, il quale è da essi nominato *dévis*; al qual titolo sostituirono l' altro *di métrage* da che fu introdotto il nuovo sistema di misure, ora quasi generalmente adottato nelle scienze e nelle arti. Noi l' intitoleremo *computo metrico*. Si offre questo computo in forma d' una tavola, dove sono progressivamente nominate ad una ad una le varie specie, o come sogliono dire i pratici le varie *partite* di lavori, sono citati i corrispondenti articoli del piano, sono registrate le dimensioni lineari rispettivamente assegnate nel piano stesso, e sono finalmente notate le quantità totali di ciascuna partita sia in lunghezza, sia in superficie, sia in volume, sia in peso, sia in numero, secondo che conviene alle particolari loro qualità, come si è detto poc' anzi.

La parte seconda del dettaglio estimativo assegna il prezzo elementare a ciascuna delle partite contenute nel prospetto metrico. Si adducono primieramente in essa i prezzi elementari de' materiali semplici, e le mercedi giornaliere dovute agli operai, ed agli artefici; avendo ordinariamente così gli uni come l' altre dei valori mercantili, dipendenti secondo le diversità dei luoghi, e delle stagioni, da cagioni fisiche, ed industriali di vario genere. Dopo di che i costi elementari di ciascheduna partita di lavoro si deducono ad uno ad uno con particolari processetti analitici, ai quali si suol dare la denominazione di *analisi*.

Finalmente la terza parte della stima, che può distinguersi col titolo di *ristretto estimativo*, ripetendo ad una ad una le speciali partite, già enumerate nella parte prima, e con lo stess' ordine progressivo, determina l' importo parziale di ciascuna di esse, il quale risulta, come fu detto, dal moltiplicare la quantità addotta nel computo metrico pel rispettivo costo elementare calcolato nella seconda parte; e quindi in fine con la somma di tutti quegl' importi parziali fa conoscere il costo generale dell' opera, scopo finale di tutta l' operazione.

§. 977. Da quanto abbiam detto facilmente si raccoglie che la parte prima del dettaglio estimativo è tutta meramente geometrica; giacchè la deduzione delle quantità delle varie partite di lavori dalle rispettive dimensioni lineari altro non richiede che l'applicazione dei canoni della geometria elementare, e dei metodi della geometria sublime, concernenti la misura delle linee, delle superficie, e dei solidi: e che la parte terza si riduce tutta ad un semplice calcolo aritmetico. E quindi si scorge che il vero criterio della stima è tutto riposto nella parte seconda, cioè nella valutazione dei costi elementari delle varie specie di lavori. Ora egli è chiaro che per determinare il giusto costo elementare d'una data specie di lavoro, conviene accumulare tutte le distinte spese che occorrono per costruire l'unità di misura o di peso, o di numero del lavoro di cui si tratta; ed è pur facile a conoscersi che tutte le spese di costruzione sono comprese nelle seguenti quattro categorie, cioè; 1.° importo de' materiali, 2.° prezzo del lavoraggio, o fattura, vale a dire dell'opera degli artefici, de' manovali, e d'ogni classe di lavoranti, 3.° costo dei mezzi necessari per l'esecuzione dell'opera, 4.° spese di sorveglianza, d'amministrazione, e di garanzia del lavoro.

I semplici titoli spiegano abbastanza quali sieno le spese appartenenti alla prima, ed alla seconda categoria. Nella terza si comprendono tutte quelle che, oltre l'opera degli artefici, e de' lavoranti, occorrono direttamente, o indirettamente per l'effettiva costruzione; quali sono le spese di quegli strumenti fabbrili, ed attrezzi, che non fanno parte del corredo proprio dei vari operai, l'acquisto, o il nolo delle macchine, e del cordame, la costruzione, o l'affitto de' magazzini e dell'officine, le guardie, i lumi, e così via discorrendo. Spettano finalmente alla quarta categoria i salari de' ministri, alcuni dei quali sono destinati a sorvegliare, e a dirigere i lavoranti, a tenerne i ruoli settimanali, a rilasciare le polizze pel pagamento delle mercedi ad essi dovute, altri sono incaricati delle provviste, e della custodia de' materiali, o de' registri de' conti, o dell'amministrazione della cassa, vale a dire delle riscossioni, e de' pagamenti delle somme assegnate per l'eseguimento dell'opera; le spese necessarie per le stipulazioni de' contratti delle forniture di materiali, d'operai, di macchine, ed attrezzi, e così ogni altra spesa amministrativa: alle quali, quando il lavoro si dà in appalto, com'è quasi universalmente prescritto per l'opere pubbliche, debbono aggiugnersi i compensi dovuti all'intraprensore per le somme che deve anticipare, e per la cauzione che deve dare a sicurezza della regolare esecuzione dell'opera, e dell'adempimento di tutte le condizioni stabilite nel contratto, e pei rischi ai quali si avventura

assumendo di mantener l'opera contro qualsivoglia caso fortuito finchè essa sia compita, e collandata.

Vediamo quali sieno le basi generali, sulle quali dev'esser fondato il calcolo delle spese appartenenti a codeste diverse categorie, nel fare l'analisi de' costi elementari delle varie specie di lavori.

§. 978. L'importo di ciascuno dei materiali componenti deve distintamente esser incluso nell'analisi del prezzo elementare del lavoro di cui si tratta (§. 976), espresso dal prodotto della quantità di quel tal materiale, che è necessaria per la formazione dell'unità metrica del lavoro, pel prezzo elementare del materiale stesso. Le qualità e le proporzioni de' materiali, e quindi le quantità rispettive vengono prescritte dalle regole di buona costruzione, che l'arte ha dedotte dagli ammaestramenti dell'esperienza. Oltre la quantità di materia che effettivamente deve andare in opera, convien computare anche quel tanto, che inevitabilmente, se ne disperde nell'essere apparecchiata, trasportata, ed adoperata; che è più o meno secondo le qualità de' materiali, e gli usi cui sono destinati, nè può fissarsi che sui risultati dell'osservazioni, e delle sperienze. Dei prezzi elementari de' vari materiali taluni, come or dianzi si disse, hanno dei valori mercantili, dai quali non vi è motivo di recedere, altri convien che sieno determinati con apposite analisi, dipendentemente dalle spese che occorrono per l'acquisto della cosa, per quelle preparazioni, di cui può abbisognare nel luogo ove esiste, pel trasporto di essa al sito, ove dev' essere impiegata. Generalmente poi vogliono essere valutati per mezzo di regolari analisi i costi elementari di tutti i materiali composti, quali sono per esempio le malte, e le vernici.

§. 979. Per l'esecuzione di qualsivoglia lavoro si richiede l'opera di esperti artefici, o di lavoranti esercitati in qualche particolar sorta di operazioni, di manovali capaci di prestar aiuto agli artefici negli uffici più facili, e più grossolani, ed anche talvolta di semplici giornalieri unicamente atti a sopportar la fatica in alcune incombenze di niuna difficoltà. A queste varie specie d'operai sono assegnate delle mercedi giornaliere dipendenti dalle circostanze dei luoghi, e dei tempi, e proporzionate alla difficoltà, all'importanza, ed alla fatica dell'occupazioni, cui ciascuno di essi è destinato secondo la propria capacità. Su tale articolo egli è d'uopo di stare attaccati alle consuetudini dei luoghi, dalle quali suol essere stabilita eziandio la durata giornaliera del lavoro per ciascuna classe d'operai nelle faccende più usuali, dovendosi poi desumere questa durata del lavoro diurno per le straordinarie laboriose operazioni dai risultati dell'esperienza, che trovansi registrati principalmente nelle storie delle grandi imprese dell'arte, e dei quali abbiamo avuto occasione d'addurre parecchi saggi nel precedente libro. Conoscendosi l'indole del lavoro, di cui si vuol analizzare la spesa, è pure

consegnentemente noto quali operai abbisognino per eseguirlo. Ma per poterne valutar giustamente l'opera è d'uopo di conoscere di più quanto tempo ciascuno di essi impiega ad effettuare ciò ch'è di sua pertinenza per compiere l'unità metrica del lavoro. È questa una cognizione che non può acquistarsi che pei risultati delle proprie, o dell'altrui sperienze; e di tali risultati importa quindi che gli architetti facciano copiosa, e diligente raccolta, onde valersene all'opportunità. A questo proposito osserveremo che nel registrare dietro i risultati dell'esperenza i tempi necessari per la fattura dell'unità metrica delle moltiplici specie di lavori, giova di assumere per unità di tempo l'ora, a fine di ovviare così quell'incertezza che potrebbe nascere, quando i tempi fossero espressi in numeri, ed in frazioni di giornata, atteso la variabilità della durata del lavoro diurno, dipendente principalmente dalle diversità de' climi, e delle stagioni dell'anno. E quindi nelle pratiche applicazioni si convertiranno poi i numeri d'ore in numeri di giornate, riduzione semplicissima, qualora sia fissata la durata del lavoro diurno; ovvero si continuerà a tenere per unità di tempo l'ora, e si dedurrà la mercede oraria dell'operaio dalla mercede giornaliera, operazione ugualmente semplice, quando è noto quante ore dura la giornata lavorativa. Nell'uno, e nell'altro caso risulterà il prezzo dell'opera di ciascun lavorante, o manovale, per la confezione dell'unità metrica del lavoro, moltiplicando il tempo impiegato per la mercede elementare, cioè per la mercede giornaliera, se il tempo è computato a giornate, e per la mercede oraria, se il tempo è espresso in ore.

§. 980. Le spese appartenenti alla terza categoria (§. 977), alle quali può darsi il titolo di *spese accessorie*, sono oltremodo incerte e variabili; e rari sarebbero i casi, nei quali si potrebbe presumere di calcolarle minutamente sopra verosimili dati. Ma siccome tali spese, lungi dall'aver dipendenza di sorta alcuna dall'importo dei materiali, hanno bensì una necessaria relazione col lavoraggio, derivando appunto da questo il bisogno degli attrezzi, delle macchine, del cordame, de' magazzini, dell'officine, ecc: così è massima ora generalmente adottata che la somma di esse possa desumersi dall'importo della fattura in varie proporzioni, secondo le qualità diverse dei lavori. E quindi in generale, senza istituire particolari calcoli, sogliono i costruttori assegnare alle spese accessorie un valore proporzionale all'importo della fattura, con leggi diverse corrispondenti alle diversità de' lavori, e non ciecamente fissate, ma dedotte dallo studiato confronto di casi effettivi, e d'incontrastabile autorità.

§. 981. Ugualmente incerte, e variabili sono le spese componenti la quarta categoria; le quali perciò per consenso universale dei

costruttori sogliono verosimilmente valutarsi in massa, con una regola conforme a quella adottata per la valutazione delle spese accessorie, di cui or ora abbiamo fatto parola. Se non che quest'ultima categoria di spesa non vuol essere desunta dal semplice importo della fattura, ma sibbene dall'aggregato delle spese dell'altre tre categorie, essendo almeno la maggior parte di esse di tal natura, che debbono necessariamente crescere, o diminuire, secondo che cresce o diminuisce la somma di tutte le spese, che direttamente risguardano l'esecuzione dell'opera per gli altri tre motivati titoli. Ne si fa distinzione a questo riguardo fra le varie specie di lavori, ma per tutti indistintamente si assume lo stesso rapporto di 0,1; vale a dire che per qualunque sorta di lavori il cumulo delle spese d'amministrazione, di sorvegliante ecc. si suppone generalmente uguale ad una decima parte dell'aggregato di tutte le altre spese. Siccome poi in codesto cumulo s'intende compreso anche quel giusto lucro, cui ha diritto l'intraprendente, nell'ipotesi che l'esecuzione dell'opera venga data in appalto, così ne è venuto l'uso di dare alle spese della quarta categoria prese tutte assieme il titolo di *benefizio* dell'appaltatore, ovvero semplicemente *decimo di benefizio*. Onde meglio esprimere i vari caratteri di tutti gli articoli, che si comprendono in questa categoria di spese, sembraci che la somma di esse possa convenientemente intitolarsi quota, o decimo di *provvisione*.

§. 982. Prenderemo spartitamente in esame ne' seguenti capitoli le varie classi di lavori, ed applicheremo a ciascuna di esse le massime generali fin qui brevemente annunziate, con tutte quelle particolari considerazioni, che convengono alle varie indoli de' materiali, e dell'operazioni occorrenti per lavorarli, e per metterli in opera. E quantunque l'oggetto principale che ci prefiggiamo sia la parte sostanziale, cioè la seconda del processo, o dettaglio estimativo (§. 976): poichè come fu già avvertito (§. 977) la parte terza si riduce ad un semplice calcolo aritmetico, e la prima è onninamente fondata sulle dottrine geometriche; tuttavia non ometteremo, ove cadrà in acconcio, di addurre qualche metodo particolare per eseguire la rigorosa determinazione delle quantità de' lavori con semplicità e speditezza. Susseguentemente prima di passare a parlare della stima dell'occupazioni (§. 966), offriremo agli studiosi il saggio d'una raccolta d'elementi estimativi, in quattro distinte tavole, nelle quali si troveranno registrati alcuni de' più interessanti risultati dell'esperienza, e le principali convenzioni de' pratici per la determinazione delle spese appartenenti alle tre prime categorie nelle varie classi, e nelle più ordinarie specie di lavori. La tavola prima riferirà le quantità de' materiali che effettivamente occorrono per la costruzione dell'unità di misura delle varie specie di lavori. Nella seconda si

addurranno le giunte che debbono darsi alle varie qualità di materiali per supplire a quella quantità, che se ne disperde mentre vengono lavorati, o trasportati (§. 978); le quali giunte si esprimono ciascuna pel rapporto che ha con la quantità di materiale che dev'andare effettivamente in opera, determinata nella tavola prima. La terza tavola conterrà i tempi, o il numero dell'ore, che s'impiegano nella confezione dell'unità di misura delle diverse specie di lavori dai vari artefici, lavoranti, e manovali che debbono cooperarvi (§. 979). Nella quarta finalmente saranno registrate le diverse proporzioni, con cui la somma delle spese accessorie dev'essere dedotta dall'aggregato di tutte le spese di lavoraggio nelle valutazioni delle varie specie di lavori. La maggior parte dei dati elementari registrati in codeste tavole sono attinti alle moderne opere francesi di costruzione (1); poichè su questa materia gl'italiani professori hanno finora trasandato di pubblicare a comune vantaggio i risultati delle loro osservazioni, di cui hanno avuto ubertoso campo nelle grandi opere di vario genere, che a nostri giorni si sono intraprese, e condotte gloriosamente a termine per tutta l'Italia. E sarebbe invero a desiderarsi che que' valenti uomini ch'ebbero la direzione di tali classiche imprese s'inducessero a riempiere questo vuoto nella parte pratica dell'italiana architettura, a fine di dar norma agl'ingegneri nelle stime di tanti lavori, che specialmente appartengono alle circostanze, e agli usi de' nostri paesi, e di togliere quel sospetto di fallacia, da cui non saranno mai affatto scevri i nostri calcoli estimativi, finchè saranno appoggiati ai risultati d'esperienze fatte in climi diversi del nostro, con materiali differenti da quelli che ci vengono forniti dal nostro territorio, e non di rado anche con metodi di costruzione non conformi alle pratiche vigenti in Italia.

## CAPO III.

### *Lavori di terra.*

§. 983. L'opere di terra vengono generalmente rappresentate in disegno da un profilo longitudinale, e da una serie di profili trasversali, che più comunemente diconsi *sezioni*, i quali dimostrano insieme la forma attuale del suolo, e quella a cui esso dovrà ridursi in conseguenza del divisato lavoro, consistente in sottrazioni ed in riporti di materia

(1) Gauthey-*Construction des ponts*-Rondelet-*Art. de bâtir*, ecc.

(§. 1). Ciascuno dei diversi solidi di terra da rimoversi, o da riportarsi è per tal modo compreso fra due sezioni consecutive: dipendendo le figure di essi dall'altezze verticali, e dall'interposte linee, denotanti sui profili l'attual forma superficiale del suolo, e la forma della nuova superficie, che deve risultare dai proposti lavori. Le dimensioni tutte, ed il volume di qualunque si voglia di tali solidi, possono geometricamente dedursi dai valori metrici delle distanze orizzontali fra le diverse altezze verticali, e di queste altezze medesime: valori che si leggono numericamente espressi sul profilo, e sulle sezioni, corrispondentemente ai risultati della livellazione, eseguita preventivamente in campagna, e ridotta a tavolino secondo le regole della geodesia. Siccome però tutti codesti solidi possono ridursi ad una figura generale, mentre qualunque di essi è terminato da due basi quadrilatere esistenti in due piani verticali, e paralleli, ciascheduna delle quali basi ha due lati verticali, e può anche talora convertirsi in un triangolo, se taluno di questi lati verticali si renda uguale a zero; così il volume di essi può essere espresso da una formola generale, la quale è comodissima in pratica, e merita d'essere generalmente anteposta alle lungagini di altri metodi rigorosi, e molto più a quei metodi empirici, che conducono bene spesso a risultamenti troppo lontani dal vero.

§ 984. Sia proposto primieramente di determinare il volume del solido $FHPU$ (fig. 471), terminato inferiormente dal trapezio orizzontale $FP$, coi lati $PQ$, $FR$ paralleli, dalle quattro faccie $FH$, $PU$, $KR$, ed $FU$ tutte verticali, e superiormente da una superficie curva, la di cui intersezione con qualsivoglia piano verticale parallelo ai due $FH$, $PU$ si suppone che sia una linea retta.

S'intenda tagliato il solido $FHPU$ da un piano verticale parallelo alle due faccie opposte $FH$, $PU$, onde ne risulti la sezione $OZ$; e sia nel piano $FP$, condotta la linea $AC$ perpendicolare alle due $PQ$, $FR$, la quale incontri nel punto $B$ la base $OS$ della sezione $OZ$. Chiamiamo $l$ la lunghezza $AC$ del solido o, sia la distanza fra le sue basi $FH$, $PU$, $x$ la distanza $AB$ della sezione $OZ$ della base $PU$, ed $X$ il volume del solido contenuto fra questa base, e quella sezione; e facciamo altresì $QU=A$, $FP=B$, $FG=C$, $RH=D$, $PQ=p$, $FR=q$. Sarà l'area della sezione $OZ$ data dalla formola

$$\frac{[(A+B)(l-x)+(C+D)x][p(l-x)+qx)]}{2l^2};$$

e quindi il volume del solido compreso fra la base $PV$ e la sezione $OZ$ si avrà così espresso

$$X = \frac{1}{2l} \int \left[ (A+B)(l-x) + (C+D)x \right] \left[ p(l-x) + qx \right] dx$$

Effettuando l'indicata integrazione, ed estendendo l'integrale da $x = 0$ ad $x = l$, si trova

$$X = \frac{l}{12} \left[ (2p+q)(A+B) + (p+2q)(C+D) \right],$$

e questo sarà il volume di tutto il solido $FHPU$.

Ora se intendiamo che al medesimo trapezio $FP$ insista inferiormente un altro solido, costituito, come quello che abbiamo finora considerato, fra i quattro piani verticali, che passano pei quattro lati del trapezio, e terminato al di sotto da una superficie curva dell'indole stessa di quella, da cui si è supposto coperto il solido superiore, chiamandone $A'$, $B'$, $C'$, $D'$ i lati verticali corrispondenti ai lati $A, B, C, D$, e nominandone $X'$ il volume, si troverà nella stessa guisa

$$X' = \frac{l}{12} \left[ (2p+q)(A'+B') + (p+2q)(C'+D') \right].$$

Se dunque faremo $A + A' = a$, $B + B' = b$, $C + C' = c$, $D + D' = d$, e chiameremo $S$ l'aggregato dei due volumi $X$, $X'$, è manifesto che sarà

$$S = \frac{l}{12} \left[ 2p+q)(a+b) + (p+2q)(c+d), \right]$$

e che sarà questa l'espressione generale del volume d'un solido contenuto fra quattro faccie verticali, due delle quali parallele fra loro e terminato sopra e sotto da due superficie curve della sopraddetta indole; il quale è appunto il caso generale, a cui si riducono, come già si disse (§. 983), tutti i solidi parziali componenti i vari tronchi di sterri, e di riporti fra due consecutive sezioni ne' progetti de' lavori di terra. Tal è dunque la formola, di cui consigliamo l'uso pel calcolo delle solidità dei lavori di terra; ed è quella medesima che allo stess' uopo veniva proposta dallo Sganzin (1) sotto la forma

(1) *Programmes ecc.* - Lez. XVI.

$$S=\frac{lp}{2}\times\frac{2a+2b+c+d}{2.3}+\frac{lq}{2}\times\frac{a+b+2c+2d}{2.3}$$

§. 985 Supponghiamo per esempio che si cercasse il volume di un solido della forma anzidetta, in cui fosse $l=100$, $p=9$, $q=2$, $a=8$, $b=13$, $c=17$, $d=35$ metri. Sostituendo tali valori nella formola generale, ed effettuando i calcoli numerici, risulterebbe $S=9133,333$ metri cubi, e questo sarebbe il valore del volume del solido.

Alcuni, per determinare il volume di un solido della figura che abbiamo supposta, sogliono valersi d'un metodo pratico, che dicesi metodo *delle dimensioni ragguagliate*, pel quale il cercato volume si fa uguale al prodotto della lunghezza del solido, vale a dire della distanza fra le due basi parallele, della semisomma delle lunghezze delle due basi, e della quarta parte della somma delle quattro linee parallele, che terminano lateralmente le basi medesime. Ritenute le denominazioni da noi assunte nella soluzione del problema, questo metodo si converte nella formola

$$S=l\times\frac{p+q}{2}\times\frac{a+b+c+d}{4}.$$

Applicando questa al solido avente le dimensioni or ora supposte, ne risulterebbe il volume di m. c. 10037, 500, che oltrepassa il vero valore poc'anzi trovato di m. c. 904,167.

Altro metodo empirico, cui taluni si attengono, si è quello che dicesi *delle sezioni ragguagliate*, e consiste nel moltiplicare la semisomma dell'aree delle due basi parallele per la lunghezza del solido. Questo metodo è contenuto nella formola

$$S=\frac{l}{4}[p(a+b)+q(c+d)].$$

Secondo una tal formola il volume del solido, nel caso particolare che abbiamo preso a soggetto di esempio, apparirebbe di m. c. 7325; vale a dire m. c. 1808, 333 meno del giusto valore dato dalla formola rigorosa.

Quindi in fatto apparisce la fallacia d'entrambi codesti metodi empirici, e quanto lungi dal vero possano talvolta condurre nell'effettive applicazioni; e si conosce quanto importi per conseguenza di proscriverli assolutamente dalla pratica.

§. 986. Il computo metrico di qualsivoglia lavoro di terra, effettuato per mezzo della già suggerita formola, convien che sia sommariamente esposto in una tavola, in cui sieno registrate le dimensioni lineari, ed

i volumi dei singoli solidi componenti ciaschedun tronco del lavoro fra due sezioni consecutive, ed i volumi collettivi de' singoli tronchi. Potrà servir di modello la tavola che qui appresso esibiamo, la quale dimostra le tracce, ed i risultati del computo metrico, risguardante il progetto della costruzione d'un argine, che per qualsivoglia fine debba erigersi a traverso una valle in retta linea dal punto $A$ al punto $F$, con la forma, e con le dimensioni che risultano dal profilo longitudinale, e dai traversali delineati nella fig. 472.

## TAVOLA

*Dimostrativa dei solidi di terra componenti il nuovo argine da costruirsi.*

| Distinzione de' tronchi e de' solidi componenti | Dimensioni lineari | | | | | | | volumi | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $l$ | $p$ | $q$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | de' solidi parziali | de' tronchi dell' argine |
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. c. | m. c. |
| Tronco I° fra le sezioni A, B. | | | | | | | | | |
| Corpo dell' argine . . . . . | 30,00 | 7,00 | 7,00 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 1,50 | 141,750 | 159,760 |
| Scarpa a sinistra . . . . . | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 6,000 | |
| Scarpa destra . . . . . | | 0,00 | 1,60 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 12,000 | |
| Tronco II°. fra le sezioni B, C. | | | | | | | | | |
| Corpo dell' argine . . . . . | 47,00 | 7,00 | 7,00 | 1,20 | 1,50 | 1,00 | 1,60 | 435,925 | 520,565 |
| Scarpa a sinistra . . . . . | | 1,00 | 0,60 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 1,00 | 20,837 | |
| Scarpa a destra . . . . . | | 1,60 | 1,90 | 1,50 | 0,00 | 1,60 | 0,00 | 63,803 | |
| Tronco III°. fra le sezioni C, D. | | | | | | | | | |
| Corpo dell' argine . . . . . | 24,00 | 7,00 | 7,00 | 1,00 | 1,60 | 1,50 | 1,00 | 214,200 | 255,400 |
| Scarpa a sinistra . . . . . | | 0,60 | 2,00 | 0,00 | 1,00 | 0,90 | 1,50 | 20,200 | |
| Scarpa a destra . . . . . | | 1,90 | 0,70 | 1,60 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 21,000 | |
| Tronco IV°. fra le sezioni D, E. | | | | | | | | | |
| Corpo dell' argine . . . . . | 22,00 | 7,00 | 7,00 | 1,50 | 1,00 | 1,70 | 1,70 | 227,150 | 278,05 |
| Scarpa a sinistra . . . . . | | 2,00 | 1,60 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,70 | 34,440 | |
| Scarpa a destra . . . . . | | 0,70 | 1,70 | 1,00 | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 15,462 | |
| Tronco V°. fra le sezioni E, F. | | | | | | | | | |
| Corpo dell' argine . . . . . | 53,00 | 7,00 | 0,00 | 1,70 | 1,70 | 0,00 | 0,00 | 315,350 | 364,905 |
| Scarpa a sinistra . . . . . | | 1,60 | 7,60 | 1,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 24,027 | |
| Scarpa a destra . . . . . | | 1,70 | 0,00 | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 0,00 | 25,528 | |
| Lunghezza totale dell' argine m. 176,00 | | | | | | | | | |
| Volume totale dell' argine . . . . . . . . . . . . | | | | | | | | | m. c. 1578,672 |

§. 987. La fig. 473 dimostra un frammento del profilo longitudinale di una nuova strada, di cui si suppone progettato l'aprimento, e due profili trasversali, o sezioni, le quali si finge che sieno nella serie progressiva di tutte le sezioni del progetto l'VIII$^a$. e la IX$^a$. Gli sterri, ed i riporti occorrenti per la formazione del tronco di strada, compreso fra le dette due sezioni, vengono chiaramente rappresentati sui tipi rispettivi, e sulla pianta parziale $Z$, in cui sono segnate le lunghezze, e le larghezze dei solidi parziali, dedotte dalle latitudini orizzontali, e dalle altezze verticali espresse coi corrispondenti numeri nel profilo e nelle sezioni. Per ridurre il caso a maggior semplicità non si considera che il lavoro occorrente per preparare fra le due nominate sezioni il suolo stradale; omettendo lo scavo dei fossi laterali, e quello della cassa destinata a contener l'inghiaiata (§. 112). Le tracce, ed i risultati del computo metrico, appariscono con ordine nella tavola seguente, la quale potrà servir di modello per tutti i casi, nei quali il lavoro abbraccia promiscuamente dei tagli, e dei riporti di terra. Il totale volume dello sterro nel tronco di cui si tratta risulta di m. c. 44,793, e quello del riporto di m. c. 28,871. Che se giusta lo stile di alcuni meno scrupolosi architetti si volessero dedurre tali volumi moltiplicando rispettivamente le semisomme dall'aree, che sulle sezioni costituiscono i termini del taglio o del riporto, per la lunghezza del tronco, si troverebbero pel taglio m. c. 88,200, e pel riporto m. c. 59,400; risultati presso a poco doppi de' giusti volumi testè determinati. Ed è facile a vedersi che immancabilmente il metodo delle sezioni ragguagliate deve condurre ad errori d'ugual calibro, tutte le volte che venga applicato alla ricerca dei volumi dello sterro, e del riporto fra due sezioni, nell'intervallo delle quali la pendenza traversale del terreno si muti in guisa tale, che in qualche punto intermedio debba invertersi la disposizione delle due operazioni, come appunto nel nostro caso; vale a dire che mentre per un tratto lo sterro cade a sinistra, ed il riporto a destra del convenzionale andamento del profilo (§. 84) occorra pel tratto residuale il taglio sulla destra, ed il riporto sulla sinistra; o viceversa.

*Frammento della tavola dimostrativa dei tagli, e de'riporti di terra occorrenti per la formazione della nuova strada ecc.*

| Distinzione de' tronchi, e dei solidi parziali | Dimensioni lineari | | | | | | | Volumi de solidi parziali | | Volumi collettivi de' solidi pei vari tronchi | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $l$ | $p$ | $q$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | tagli | riporti | tagli | riporti |
| Tronco VIII°. fra le sezioni VIII$^a$. a IX$^a$. | m. | m. | m. | m | m. | m. | m. | m. c. | m. c. | m. c. | m. c. |
| 1. Taglio a sinistra sul suolo stradale | 25,49 | 4,00 | 3,58 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,873 | . . . | 44,793 | |
| 2. Taglio della sponda corrispondente | | 0,54 | 0,00 | 0,00 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 1,101 | | | |
| 3. Taglio a destra sul suolo stradale | 38,47 | 3,36 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 27,347 | | | |
| 4. Taglio della sponda corrispondente | | 0,00 | 0,93 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 4,472 | | | |
| 1. Riporto a sinistra sul suolo stradale | 34,51 | 3,58 | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,6[illegible] | 0,00 | . . . | 17,976 | . . . | 28,871 |
| 2. Riporto della sponda corrispondente | | 0,00 | 0,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,65 | . . . | 3,103 | | |
| 3. Riporto a destra sul suolo stradale | 21,53 | 3,00 | 3,26 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | . . . | 7,053 | | |
| 4. Riporto della sponda corrispondente | | 0,49 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | . . . | 0,739 | | |

§. 988. La formola proposta, la quale offre il vantaggio di ridurre ad una perfetta uniformità il computo metrico de' lavori di terra, come si è potuto scorgere negli addotti esempi; quantunque non possa lasciare alcun dubbio sulla geometrica sua rigorosità, tuttavia nell' uso pratico può condurre a risultamenti più o meno lontani dal vero, non per vizio proprio, ma per difetto dei solidi ai quali dev' essere applicata: i quali anzi sarebbe vano di presumere che fisicamente corrispondessero sempre appuntino a quella forma geometrica, a cui la formola stessa appartiene. Il divario può nascere o perchè non sieno perfettamente parallele fra loro le due sezioni, che comprendono qualche tronco del lavoro, il che accade propriamente quando l'andamento topografico dell' opera non procede tutto per una stessa linea retta, ma si torce or a destra or a sinistra con isvolte curvilinee; ovvero perchè la superficie attuale del suolo, ove dev' eseguirsi il taglio, o il riporto, differisca sensibilmente per natura da quella superficie geometrica, da cui abbiamo supposto terminato superiormente, ed inferiormente il solido, del quale la nostra formola esprime il volume (§. 984). Ma è chiaro che si potrà rimediare a tali anomalie, o almeno far sì che non ne abbiano a derivare nel computo che piccoli errori e trascurabili, moltiplicando il numero delle sezioni, e quindi ravvicinandole in modo, che fra l'una e l'altra di esse l'anzidette incongruenze si rendano tenuissime.

§. 989. La materia terrea, che si ritrae dall' esecuzione d'un taglio, per quanto s'impieghino tutte le cure dell' arte nell' ammassarla, affinchè si unisca e si condensi (§ 7), produce mai sempre in fatto un solido di volume alquanto maggiore di quello che risulta dalle dimensioni dello sterro. Si fatto numero di volume è maggiore nelle terre forti, di quello che nelle dolci o sciolte; ed il Bolognini dedusse dai risultati delle proprie osservazioni che nelle prime l'accrescimento possa giugnere fino al dieci per cento, mentre nelle seconde non oltrepassa il tre, o al più il quattro per cento (1). Comunemente non suol farsi alcun caso di questo fenomeno nelle calcolazioni estimative dei lavori; ma pure a rigore se ne dovrà tener conto facendo un corrispondente diffalco, ovvero una proporzionata aggiunta sul volume risultante dalle dimensioni effettive dell' opera, secondo che questa consiste in riporto, ovvero in taglio di terra, in riguardo d'alcune o d'alcune altre dell' operazioni elementari in cui si decompone il lavoro, come diremo fra poco.

§. 990. Nei lavori di terra generalmente il costo del materiale è nullo. Per valutar la fattura nella determinazione analitica dell' importo elementare dell' opera (§. 976), convien distinguere la serie dell' operazioni elementari, che successivamente occorrono per effettuare l'opera proposta. Codeste operazioni elementari si riducono ai dieci seguenti capi. 1°. Il *rompimento* o la *smovitura* del terreno. 2.° Il *paleggiamento* che volgarmente dicesi anche la *paleggiatura*. 3.° La *conciatura*. 4.° Il *carico*. 5.° Il *trasporto*. 6.° Lo *scarico*. 7. Lo *spandimento*, o come corrottamente dicesi la *spanditura*. 8°. *Il pestamento* o sia la *pigiatura*. 9°. Lo *spianamento* delle superficie. 10°. *L' impellicciatura*, o copertura di piote. Codeste operazioni elementari non sempre sono tutte necessarie, ma alcune di esse lo sono sì o no, secondo il fine particolare dell' opera. Esse vengono rispettivamente affidate a vari lavoranti di adattata capacità. Il tempo che da ciaschedun lavorante s'impiega ad effettuare questi diversi lavori elementari sopra l'unità di misura è vario secondo le varie qualità della materia che dev' essere lavorata (§. 6). I risultati medi dell' osservazioni circa il tempo che occorre per ciascuna di tali operazioni, sopra ciascuna delle varie qualità di materie terree, o sassose, che ordinariamente si offrono alla crosta del globo terrestre, saranno registrati nella terza delle promesse tavole alla fine di questa sezione. Ad agevolare però l'intelligenza, e la giusta applicazione di codesti risultati, sarà opportuno di aggiugnere alcuni schiarimenti sulle singole predistinte operazioni.

---

(1) *Opuscolo relativo alla costruzione dei grandi edifizi* - Reggio 1814 - Parte II Artic. III.

§. 991. La rompitura si eseguisce con la vanga, collo zappone, o col piccone secondo la natura del terreno. È questa un'operazione inutile quando si tratta d'un terreno scioltissimo, quali sono il pantanoso, e l'arenoso. L'unità di misura per quest'operazione elementare è generalmente il cubo dell'unità lineare, e quindi nel moderno sistema metrico è il metro cubo. I limiti del tempo necessario per la rompitura d'un metro cubo di materia sono ore 0,60, ed ore 2,50; appartenendo il minore di questi tempi alle terre vegetali, ed il massimo alle materie tufacee compatte. Fra codesti limiti vagano i tempi necessari per la smovitura dell'altre specie di materie. Può convenire talvolta di valutare la rompitura in ragione di superficie; quando non si tratta che di smuovere la terra superficialmente fino ad una piccola profondità o con l'aratro, o collo zappone, pel semplice scopo di predisporre il fondo ad unirsi saldamente con un rilevato che debba esservi costrutto sopra (§. 17. n. 3). Quando per la rompitura di roccie solide si conosce necessario o conveniente l'uso delle mine si dovrebbe tener conto non solo della quantità di tempo, che ragguagliatamente un minatore deve impiegare per far crollare e ridurre in pezzi un metro cubo di materia, ma ben anche della quantità di polvere che si richiede a produrre un tal effetto. Ma questi sono elementi dipendenti da circostanze troppo variabili, e forse invano si presumerebbe di stabilire delle basi generali anche solo approssimative, per la valutazione di essi. Converrà dunque giovarsi a tal uopo di apposite esperienze.

Quando il fine essenziale del lavoro è lo sterro, la rompitura conviene che succeda, e che venga quindi calcolata per l'intero volume che risulta dalle dimensioni prefisse nel piano dell'opera, e quindi nella valutazione elementare, cioè del costo di ciaschedun metro cubo del lavoro, è d'uopo di calcolare la rompitura effettiva d'un metro cubo di materia. Ma quando si tratta d'un lavoro, il di cui fine è la costruzione d'un rilevato di figura e dimensioni date, atteso l'aumento di volume che accade nelle terre allorchè vengono tolte dalla natural sede, ed accumulate altrove (§. 990), egli è chiaro, che a produrre il volume d'un metro cubo nel divisato riparto basterà la quantità di materia proveniente da uno sterro, le di cui dimensioni effettive dieno un volume che stia ad un metro cubo in un rapporto corrispondente al detto incremento. E quindi si deduce che rigorosamente nel fare l'analisi del costo elementare della terra occorrente per la costruzione d'un argine, o altro rilevato, si dovrà mettere in conto la rompitura non per un metro cubo di materia, ma per un volume di materia espresso da $\frac{1}{i}$, ove $i$ rappresenti

il volume del solido che si forma con la terra proveniente da un metro cubo di taglio effettivo.

§. 992. Il paleggiamento è quell'operazione, per cui la materia smossa si toglie dal sito ove giaceva, e si getta orizzontalmente, o verticalmente per mezzo di pale dall' una, o dall'altra banda del taglio, o del cavo. La distanza orizzontale, a cui la terra può essere gettata da un uomo di forza media in un'operazione continuata, è fissata in pratica, dietro i risultati dall' esperienza, di m. 3, e questa distanza è quella cui i pratici danno la denominazione di *sbraccio*. Quando poi si tratta di paleggiatura verticale, lo sbraccio si riduce a soli m. 2. Che se la distanza orizzontale o verticale, a cui dev'essere gittata la terra, oltrepassa o l'una, o l'altra dell'indicate misure, occorre allora di ripetere la paleggiatura tante volte, quante volte la distanza data contiene la lunghezza dello sbraccio; e qualora la divisione dia un residuo si deve considerare uno sbraccio di più. Così per esempio se la paleggiatura debba effettuarsi ad una distanza orizzontale compresa fra m. 3, e m. 6, o ad una distanza verticale che sia fra m. 2, e m. 4, si dovranno calcolare due sbracci; se abbiasi ad eseguire la paleggiatura ad una distanza orizzontale che sia fra m. 6, e m. 9, ovvero ad una distanza verticale compresa fra m. 4, e m. 6, si dovranno calcolare tre sbracci, e così via discorrendo. Negli scavi profondi si formano a bella posta di due in due metri d'altezza degli scaglioni, o *banchine*, dall'una all'altra della quali si possa paleggiare il terreno per estrarlo dal cavo. Per valutare il tempo necessario ad eseguire la paleggiatura d'un metro cubo di terra a data distanza, o sia ad un certo numero di sbracci, basta di sapere quanto tempo impieghi un operaio a paleggiare un metro cubo di quella terra ad un semplice sbraccio. Questo tempo varia, fra limiti però assai vicini, vale a dire da ore 0,65 ad ore 0,75, secondo le diverse qualità di materia, come è notato nella tavola. L'operazione della paleggiatura può essere risparmiata, quando le circostanze locali permettono che le carriuole, o gli altri veicoli inservienti al trasporto delle terre (§. 815, e seg.), possano essere condotti a portata di essere immediatamente caricati del terreno smosso. Quando poi si tratta delle formazioni di cavi angusti, e profondi, come accade sovente per le fondazioni dei muri, e non si ha campo di poter praticare l'anzidette banchine laterali per le successive paleggiature, si rende allora necessario di estrarre le terre, facendole salire dentro mastelli, o canestri col sussidio di conocchie, o di burbere (§. 832) fino alla sommità del cavo, e quivi scaricandole sulle sponde.

§. 993. Sotto il titolo generico di conciatura abbracciansi quelle varie operazioni, che possono occorrere per correggere qualche naturale

imperfezione della materia scavata, onde renderla idonea all'uso cui è destinata. Tali sono la mondatura, e lo sminuzzamento delle terre destinate alla costruzione degli argini, o d'altri regolari rilevati (§. 7): la vagliatura dell'arene, e delle pozzolane, che debbono servire alla composizione delle malte per le costruzioni murali, a fine di sceverarle dai sassi, e dagli sterpi (§. 544): e così pure la vagliatura, e la lavatura della ghiaia da impiegarsi nella struttura delle strade, onde separarne la sabbia e la terra, che fossero ad essa commiste o aderenti (§. 114). Intorno allo sminuzzamento delle terre non troviamo citato negli autori veruna osservazione, e quindi il tempo verosimilmente necessario per l'eseguimento di tale operazione, le quante volte se ne vegga il bisogno, convien che sia determinato sull'appoggio d'appositi sperimenti. È a dirsi lo stesso quanto alla lavatura delle ghiaie: La vagliatura in sostanza altro non è che un paleggiamento, per cui la materia si getta contro una ramata, al di là della quale passano le parti minute, cadendo avanti ad essa quelle che per la troppa mole sono incapaci di traversar le sue maglie.

Quando le materie debbono essere fatte passar per ramata, nell'analisi del costo elementare, cioè d'un metro cubo di materia servibile, convien tener conto del calo che nasce dalla vagliatura; vale a dire che la rompitura, il paleggiamento, e la vagliatura debbono calcolarsi non sopra un metro cubo di materia, ma sopra quella maggior quantità, che poi effettivamente si riduce ad un metro cubo dopo la vagliatura. Così se si conoscerà per esperienza che un metro cubo di materia di cava, vagliata che sia, non produce che un volume $v$ di materia servibile, dovrà nell'analisi includersi la rompitura, e parimenti il paleggiamento, e la vagliatura non d'un metro cubo di materia, ma bensì d'un volume espresso da $\frac{1}{v}$. L'altre operazioni che potranno sussegueatentemente occorrere saranno poi tutte da ascriversi ad un solo metro cubo di materia.

§. 994. Il carico è quell'operazione, in cui la materia smossa vien gittata con la pala nelle casse de' veicoli, per mezzo dei quali dev' essere trasportata al sito destinatole. Il tempo necessario per caricar sui veicoli un metro cubo di materia è vario, secondo la diversa natura di esse, e secondo la maggiore, o minore altezza dei mezzi di trasporto. I due limiti di tale variabilità non sono però molti lontani l'uno dall' altro; il minore è di ore 0,60, il maggiore di ore 0,80. Quest' operazione del carico occorre anche nell' estrazione delle terre dai cavi angusti e profondi, e consiste allora nella riempitura dei mastelli per

mezzo dei quali le terre vengono tirate in alto col sussidio della conocchia, o della burbera, come si è detto poc' anzi (§. 992).

§. 995. Il tempo del trasporto elementare è quello che s' impiega da un veicolo, e quindi dall' uomo, e dalle bestie, che si richieggono per tenerlo in azione, nell' effettivo trasporto d' un metro cubo di materia ad una data distanza. Questo tempo è composto di due parti: cioè 1.° del tempo che si perde dal veicolo pel carico, e per lo scarico della materia; 2.° del tempo che il veicolo impiega nel viaggio, e nel ritorno, o sia *controviaggio*. Si è conosciuto in pratica che il tempo del carico, e dello scarico delle terre, quanto ai veicoli, è presso a poco costante, ed uguale ad ore 0,25, sebbene il caricatore impieghi effettivamente un tempo variabile, vale a dire maggiore o minore, secondo la maggior o minor altezza dei veicoli, e secondo le diverse qualità di materie. Ma onde ciò si verifichi in fatto, è d'uopo che, qualora si faccia uso di carriuole, se ne tenga continuamente al carico un numero maggiore di quello dei carriuolanti, in guisa che ciascuno di questi, quando ritorna con una carriuola vuota, non abbia che a lasciarla, e ad attaccarsi ad un' altra già piena, senza che debba perdere il menomo tempo per aspettare che il veicolo venga riempito; e che nell'uso delle carrette, e delle barrozze si faccia eseguire il carico non da un solo operaio, ma da tre caricatori, che contemporaneamente gettino la materia nella cassa d' uno stesso veicolo, perchè così il tempo del carico per la carretta, o per la barrozza si riduce ad un terzo di quello che si richiederebbe se il caricatore fosse uno solo. L' esperienza ha mostrato che volendosi impiegare più di tre caricatori intorno ad una carretta, o ad una barrozza, s'impedirebbero l' un l' altro, e mentre poco o nulla si vantaggierebbe sul tempo del carico relativamente al veicolo, s' incorrerebbe in un sensibile discapito pel minore effetto utile di ciascedun caricatore.

In ordine al tempo, che per esperienza si è conosciuto necessario, acciocchè il veicolo percorra la distanza dal sito del carico a quello dello scarico in andata ed in ritorno, o sia in viaggio e controviaggio, questo tempo corrisponde a tanti minuti secondi quanti metri son contenuti nella lunghezza collettiva del doppio viaggio che deve fare per ogni carico; e ciò tanto se si tratta di carriuole spinte a forza di uomini, quanto se si tratta di carrette tirate da cavalli. È quanto dire che la velocità ordinaria dei detti veicoli in moto è d'un metro per minuto secondo, o sia di 3600 metri per ora. Nei veicoli tirati da bovi la velocità è di soli m. 3000 per ora.

Posti codesti dati il tempo del trasporto d' un metro cubo di materia ad una data distanza con qualsivoglia sorta di veicoli può facilmente ridursi ad una semplicissima formola generale. Sia $x$ la distanza data, $c$ la capacità di ciascun veicolo, $d$ lo spazio che può essere

percorso dal veicolo nell'intervallo d'un'ora, $t$ il tempo occorrente pel trasporto d'un metro cubo di materia, presa l'ora per unità di tempo. È chiaro che a trasportare un metro cubo di materia dovrà il veicolo fare un numero di viaggi $= \frac{1}{c}$; e che siccome a ciascun viaggio deve percorrere due volte la distanza $x$, così la distanza totale, che esso deve percorrere per trasportare un metro cubo di materia, sarà $= \frac{2x}{c}$. E poichè un'ora s'impiega dal veicolo a percorrere la distanza $d$, ne segue che a compiere il detto viaggio totale $\frac{2x}{c}$ sarà da esso impiegato un tempo $= \frac{2x}{cd}$. Ma in oltre per tutti i tempi di carico, e di scarico, il veicolo perde collettivamente 0,25 d'ora per ogni metro cubo di materia. Quindi si deduce che per ogni metro cubo di terra da trasportarsi alla distanza $x$ il veicolo impiega il tempo $t = 0,25 + \frac{2x}{cd}$; ove si dovrà fare $d = 3600$ quando si tratta di trasporti da eseguirsi per mezzo di carriuole, ovvero di carrette tirate da cavalli, e $d = 3000$ qualora il trasporto debba effettuarsi per mezzo di barrozze tirate da bovi.

§. 996. Lo scarico, che è l'operazione di vuotare i veicoli, non richiede apposite persone, ma si eseguisce dagli stessi carriuolanti, o dai condottieri dei veicoli tirati da cavalli, o da bovi. Il tempo che questi impiegano ad effettuare lo scarico d'un metro cubo di materia è compreso nei 0,25 d'ora, calcolati nel tempo totale del trasporto per le due operazioni del carico e dello scarico prese insieme.

§. 997. Lo spandimento consiste nel disporre le terre scaricate dai veicoli in istrati, o cordoli d'altezza uniforme, come si richiede per la buona costruzione dei rilevati (§. 717). A quest'operazione sono destinati appositi operai, che l'eseguiscono per mezzo della pala. Essa richiede un tempo variabile compreso fra 0,15, e 0,25 d'ora per ciaschedun metro cubo di terra, secondo le varie qualità di questa. Non è necessaria, quando il fine essenziale dell'opera è il semplice taglio. Nè tampoco è necessaria nelle costruzioni de' rilevati, quando la terra sia trasportata per mezzo di carriuole, purchè si abbia cura che queste vengano scaricate con ordine, in guisa che dagli scarichi successivi ne risulti uno strato quasi regolare, e d'altezza costante.

§. 998. Il pestamento, o sia la pigiatura, è un'operazione anch'essa necessaria soltanto quando la terra dev'essere regolarmente accumulata

per la formazione d'un rilevato. Si eseguisce per mezzo di pestelli comunemente noti, che diconsi mazzi, e mazzeranghe. Nella tavola dei tempi elementari delle diverse specie di lavori si troverà assegnato alla pigiatura l'intervallo d'ore 0,50 per ogni metro cubo di materia, qualunque sia la natura di questa. Sembra per altro che rigorosamente il tempo della pigiatura dovesse variare dentro certi limiti, secondo le diverse qualità delle materie che debbono essere battute, e quindi è da desiderarsi che l'esperienza somministri qualche lume ulteriore intorno a quest' articolo.

Tornando ora alla considerazione dell' incremento, che succede nel volume delle terre, quando vengono smosse, ed accumulate artificialmente (§. 989), si rende chiaro che mentre codesto fenomeno non influisce nel tempo elementare della rompitura, quando si tratta di semplici tagli, e v' influisce bensì quando s' intende a determinare il costo elementare della costruzione d'un rilevato (§. 991): all'opposto nell' altre diverse operazioni posteriori alla rompitura, e fin qui considerate, esso ha influenza sui rispettivi tempi elementari quando trattasi di semplici sterri, ma non già quando il fine essenziale del lavoro è il riporto. E se, come altra volta, chiameremo $i$ il volume del solido, che risulta dall' ammassare le terre prodotte da un metro cubo di taglio effettivo, ove abbiasi semplicemente a stimare lo sterro, dipendentemente dalle sue dimensioni, e dal volume corrispondente, per averne il costo elementare dopo d'aver valutato il tempo per la smovitura d'un metro cubo di materia, dovranno l'altre operazioni di paleggiatura, di carico, di trasporto, e di scarico, essere calcolate non pel tempo che ciascuna di esse richiede sopra un metro cubo, ma sopra un volume $i$ di materia. Viceversa quando si deve apprezzare un rilevato pel volume che deriva dalle sue effettive dimensioni, messo in conto il tempo che abbisogna per la smovitura del volume $\frac{1}{i}$ di materia, si dovranno porre in conto i tempi occorrenti per tutte le varie altre operazioni da eseguirsi sopra il solo volume d'un metro cubo.

§. 999. Lo spianamento delle superficie è l'operazione, per cui le faccie d'un argine o di qualsivoglia rilevato, si perfezionano, in guisa che corrispondano per tutto esattamente alle forme prescritte dal piano dell'opera, e delineate ne' rispettivi tipi. È palese che il tempo necessario per l'eseguimento di tale operazione dev' essere proporzionale all' estensione superficiale, sulla quale dev'essere effettuata, e quindi l'unità di misura pel costo elementare di essa operazione dev'essere l'unità di superficie, o sia nel moderno sistema metrico, il metro quadrato. Per ciò

è d'uopo che nel computo metrico, costituente la parte prima del processo estimativo, siano in un apposito articolo minutamente riportate le tracce, ed i risultati del calcolo, per la determinazione delle superficie parziali, e dell'area totale, su cui dev'eseguirsi lo spianamento. Il tempo, che un lavorante impiega per effettuare un metro quadrato di spianamento superficiale, è di 0,10, o di 0,13 d'ora, secondo le diverse qualità di terra, come è registrato nella sopraddetta tavola dei tempi.

1000. L'impellicciatura delle facce de'rilevati esige varie operazioni secondarie, che sono la cavatura, il carico, il trasporto, lo scarico, la conciatura, e la mettitura in opera delle piote, o pellicce (§. 7,17).

Il tempo necessario per la cavatura, e tagliatura delle piote, occorrenti a fare un metro quadrato d'impellicciatura, si computa di ore 0,50: considerandosi che per ottenere codeste quantità di piote sia d'uopo di guastare circa m. q. 4 di cotenna di prato; sul qual dato va poi fatta la valutazione del risarcimento dovuto al proprietario del terreno. Le piote sogliono essere della grossezza di m. 0,10, onde dall'area di m. q. 4 di prato si ricavano m. c. 0,400 di piote. Ma questo volume può ammettersi verosimilmente che si riduca alla metà, pei ritagli che restano inutili, mentre si acconciano le piote, prima di mandarle dove debbono essere poste in opera. E quindi ne segue che per la costruzione di un metro quadrato d'impellicciatura occorre di caricare, trasportare, e scaricare m. c. 0,200 di piote. Codeste operazioni di carico, di trasporto, e di scarico, si calcolano come si farebbe per un ugual volume di terra. Finalmente l'ultima conciatura, e la mettitura in opera delle piote, o pellicce sopra un metro quadrato di superficie, si è potuto raccogliere dall'osservazioni che esigono unitamente il tempo ragguagliato di 0,80 d'ora.

§. 1001. La durata effettiva del lavoro in una giornata per l'opere di terra varia dipendentemente dalle diversità de'luoghi, e delle stagioni dell'anno. Nello stato romano il lavoro diurno nell'opere di questa classe suol estendersi da sette a dieci ore. Le mercedi giornaliere de'lavoranti sono esse pure variabili, a seconda delle circostanze dei tempi e dei luoghi, dell'idoneità degl'individui, e della maggiore, o minor fatica dell'operazioni, a cui sono destinati. Altrettanto dicasi dei prezzi giornalieri de'mezzi di trasporto tirati da cavalli, o da bovi, nei quali s'intende compresa la mercede de'carrettieri, ed il nolo delle bestie da tiro. Le capacità de'veicoli, destinati al trasporto delle materie, dipendono ordinariamente dalle consuetudini locali; le quali però dovrebbe essere cura degl'ingegneri, e de'magistrati competenti, che venissero riformate, ove son contrarie alla speditezza ed all'economia de'trasporti.

La capacità delle carriuole ben conformate è, come già si disse (§. 816), di m. c. 0,300 circa. Le capacità dei veicoli romani adattati al trasporto delle terre, e d'altre somiglianti materie, furono dedotte nel precedente libro dalle dimensioni assegnate alle rispettive casse, secondo le prescrizioni capitoline (§. 826).

§. 1002. Le spese accessorie ne' lavori di terra abbracciano il consumo degli attrezzi, cioè picconi, zappe, pale, carriuole ec.; il fitto degli alloggiamenti per gli operai, delle stalle pel ricovero delle bestie da tiro, e de' magazzini per la custodia degli ordegni; i salari de' sorveglianti; le costruzioni delle strade provvisionali, ec. La massa di tali spese (§. 980) per consenso generale de' pratici, dietro i risultati dell' osservazioni, suole ordinariamente valutarsi un ventesimo dell' importo di tutte le spese di lavoraggio, escluse quelle del trasporto, poichè per questa parte dell'operazione le spese accessorie, consistenti quasi unicamente nel nolo dei veicoli, sono contenute nel prezzo giornaliero assegnato a ciascuna carretta, o barrozza.

§. 1003. A fine di mostrar più chiaramente come debbasi procedere, a seconda de' precedenti insegnamenti, nell' analisi estimative de' lavori di terra, sarà utile d' intavolare qualche esempio. Supponghiamo primieramente che sia proposto di eseguire uno sterro generale in tutta l'estensione del Foro romano per discuoprirne l' antico pavimento; e di trasportar le materie risultanti da codesto sterro nel campo già un tempo occupato dalla Curia ostilia, ed ora orto de' padri passionisti del convento de' santi Giovanni, e Paolo; e quindi che si voglia conoscere in prevenzione la spesa presuntiva dell' opera.

La distanza media che dovrà esser percorsa dalle materie per passare dal Foro all'orto anzidetto, è di m. 1250. Siccome poi il lavoro non potrà eseguirsi che nel corso di varie stagioni, così possiamo stabilire che la durata media della giornata lavorativa sia di ore otto. La mercede giornaliera de' lavoranti *terraiuoli* al saggio corrente de' mercati di Roma può supporsi di baiocchi trenta; e così il nolo giornaliero d'una carretta a cassa tirata da un cavallo, di uno scudo; e quello d' una barrozza a cassa tirata da due bovi, di uno scudo e mezzo. Possiamo altresì verosimilmente supporre che l' aumento delle terre scavate sia di $\frac{5}{100}$ sopra il volume risultante dalle dimensioni dello sterro, e quindi che ciascun metro cubo di sterro produca m. c. 1,050 di materia. Ciò posto istituiremo tre distinte analisi del costo elementare, o sia del costo di ciascun metro cubo di sterro: la prima nell' ipotesi che il trasporto delle materie debba essere effettuato per mezzo di carriuole: la seconda

supponendo che le materie debbano essere trasportate per mezzo di carrette tirate da' cavalli: la terza finalmente nel supposto che il trasporto debba eseguirsi con barrozze tirate da bovi.

I. Analisi per la determinazione del costo di ciaschedun metro cubo di sterro, dovendosi eseguire il trasporto per mezzo di carriuole.

Per la rompitura del terreno, sopra ciascun metro cubo del volume risultante dalle dimensioni dello sterro, occorrono di lavorante terraiuolo . . . . . . . . . . . . . . . ore 1,20

Pel carico sulle carriuole delle materie provenienti da un metro cubo di rompitura in m. c. 1,050, in ragione d'ore 0,65 per metro cubo . . . . . . . . . » 0,68

Pel trasporto con carriuole della detta quantità di materia, in ragione di ore 23,40 per metro cubo (§. 996) . » 24,57

Sono in tutto di lavorante terraiuolo . . ore 26,45

Le quali ore 26,45 equivalgono a giornate 3,306, che valutate baiocchi 30 l'una importano . . . . . . . . » sc. 0,992

Si aggiunge un ventesimo dell'importo del lavoraggio per le spese accessorie (§. 1002), cioè . . . . . . . . . . » 0,050

E ne risulta la somma di . . . . . . . . . . sc. 1,042

Aggiugnendo a questa un decimo di provvisione (§. 981), cioè . » 0,104

Ne risulta il costo di ciaschedun metro cubo di sterro di . . sc. 1,146

II. Analisi per determinare l'importo di ciaschedun metro cubo di sterro volendosi effettuare il trasporto per mezzo di carrette.

Per la rompitura come sopra occorrono di lavorante terraiuolo. . . . . . . . . . . . . . . . . . ore 1,20

Pel carico sulle carrette della materia risultante in m. c. 1,050, in ragione di 0,70 d'ora per metro cubo . . . » 0,73

Per lo spandimento grossolanamente eseguito della stessa quantità di materia, in ragione di ore 0,12 per metro cubo . . . . . . . . . . . . . . . . . . » 0,13

Occorrono in tutto di lavorante . . . . . . . . . ore 2,06

Le quali ore 2,06 equivalgono a giornate 0,257, che a baiocchi 30 l'una importano. . . . . . . . . . . sc. 0,077

Si aggiunge un ventesimo per le spese accessorie. . . . . . » 0,040

Pel trasporto della predetta quantità di m. c. 1,050 di materia alla prescritta distanza, una carretta, in ragione d'ore 2,217 per metro cubo (§. 826, 996), impiega ore 2,327, pari a giornate 0,291, che al nolo giornaliero di uno scudo impor-

Somma da portarsi; sc. 0,117

Somma portata sc. 0,117
tano . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,291

Ascendono insieme le spese di lavoraggio, e di trasporto, e l'accessorie a . . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,408
Si accresce un decimo di provvisione. . . . . . . . . » 0,041

E ne risulta il costo d'ogni metro cubo di sterro di . . . . sc. 0,449

III. Analisi dell'importo di ciaschedun metro cubo di sterro, nell'ipotesi che le materie debbano essere trasportate con barrozze.

Lavoraggio, e spese accessorie, come nelle analisi precedenti, sc. 0,117
Pel trasporto di m. c. 1,050 di materia alla stabilita distanza media di m. 1250, una barrozza tirata da bovi, nella ragione di ore 1,575 per metro cubo (§. 826, 996), impiega ore 1,654, equivalenti a giornate 0,207, che al nolo giornaliero di uno scudo e mezzo importano . . . . . . . . sc. 0,310

Quindi l'aggregato delle spese del lavoraggio, e del trasporto, e delle accessorie risulta di . . . . . . . . . . sc. 0,427
Ed aggiunto il decimo di provvisione, cioè . . . . . . » 0,043

Ne risulta l'importo di ciaschedun metro cubo di sterro di . sc. 0,470

Dal confronto dei tre ottenuti risultamenti, spettanti alle tre distinte ipotesi, si viene a raccogliere che la carretta a cavalli è il mezzo di trasporto, da cui nel supposto caso deriva la maggiore economia. Decidendo quindi che il trasporto delle materie avesse ad essere effettuato tutto per via di carrette, poichè il prezzo di ciaschedun metro cubo di sterro è di scudi 0,449, troveremo l'importo generale dell'opera proposta moltiplicando il volume totale dello sterro da eseguirsi per codesto prezzo elementare. E siccome dalla livellazione, e dai calcoli che furono fatti per esercizio degli allievi della scuola degl'ingegneri l'anno 1820, si dedusse che il solido delle terre miste di macerie, che ingombrano l'antico suolo del Foro romano fra gli archi di Settimio, e di Tito, ascende prossimamente a m. c. 153569 (1), così verremo a conoscere che ad eseguire la divisata operazione sarebbe presuntivamente necessaria una spesa di scudi 68952,481.

§. 1004. Proponiamo per un secondo esempio di far la stima della costruzione d'un argine, di cui la fig. 472 offre il profilo, e le sezioni, e del quale abbiamo già dato il computo metrico sul principio di

(1) *Ricerche geometriche e idrometriche fatte nella scuola degl'ingegneri pontificii d'acque, e strade l'anno 1820 - pag. 53.*

questo capitolo (§. 986). Supporremo che l'opera debba essere costrutta con terra sciolta, da cavarsi in un campo adiacente, per cui il viaggio medio del trasporto risulti di m. 60. Istituiremo qui pure il calcolo analitico per la determinazione del costo di ciascun metro cubo di terra componente il solido del nuovo argine nelle tre diverse ipotesi, che il trasporto debba succedere o per mezzo di carriuole, o per mezzo di carrette ordinarie a cavalli, o per mezzo delle nostre usuali barrozze tirate da bovi. Supporremo altresì che la terra di cui si deve far uso aumenti di volume dopo di essere stata smossa (§. 989) nella ragione del 3 per 100, talmente che ciascun metro cubo di scavo produca un volume di terra di m. c. 1,030.

I. Analisi dell'importo di ciaschedun metro cubo del nuovo argine, supponendo che la terra debba essere trasportata con carriuole.

| | |
|---|---|
| Per la rompitura di m. c. 0,971, che inargiuati produrranno il volume di un metro cubo (§. 991), nella ragione d'ore 0,90 per ciaschedun metro cubo misurato nello scavo, occorrono di lavorante terraiuolo. | ore 0,87 |
| Pel carico d'un metro cubo di terra sulle carriuole, non occorrendo la paleggiatura, potendosi le carriuole accostare a qualunque punto del cavo | » 0,60 |
| Pel trasporto (§. 996) | » 1,36 |
| Per la pigiatura, non essendo necessario lo spandimento (§. 997) | » 0,50 |
| Sono in tutto di lavorante terraiuolo. | ore 3,33 |
| Le quali ore 3,33, supponendo le giornata lavorativa di ore 9, corrispondono a giornate 0,37, che a baiocchi 30 l'una importano sc. | 0,111 |
| Più un ventesimo per le spese accessorie, cioè | » 0,006 |
| Ne risulta la somma di | » 0,117 |
| E più un decimo di provvisione, cioè | » 0,012 |
| Onde il costo d'un metro cubo d'argine è di | sc. 0,129 |

II. Analisi del costo di ciascun metro cubo del nuovo argine, quando il trasporto debba essere eseguito per mezzo di carrette.

| | |
|---|---|
| Per la rompitura occorrono, come qui sopra, di lavorante terraiuolo | ore 0,87 |
| Per la paleggiatura d'un metro cubo di terra | » 0,65 |
| Pel carico sulle carrette | » 0,65 |
| Per lo spandimento delle terre scaricate | » 0,15 |
| Per la pigiatura | » 0,50 |
| In tutto di lavorante terraiuolo | ore 2,82 |

Le quali ore 2,82, supponendo che il lavoro giornaliero sia come sopra d'ore 9, equivalgono a giornate 0,31, che a baiocchi 30 la giornata importano . . . . . . . . . . . . . . . scudi 0,093
Più un ventesimo per le spese accessorie . . . . . . . . » 0,050
Ore 0,344, equivalenti a giornate 0,038 di carretta, che ad uno scudo per giornata importano . . . . . . . . . » 0,038

Risulta la somma delle spese di lavoraggio, di trasporto, ed accessorie, di . . . . . . . . . . . . . . . . . . » 0,181
Più un decimo di provvisione . . . . . . . . . . . . . » 0,018

E quindi ciaschedun metro cubo del nuovo argine costa . . sc. 0,199

III. Analisi del costo d'un metro cubo d'argine, nell'ipotesi che il trasporto debba essere effettuato per mezzo di barrozze.

Aggregato delle spese di lavoraggio, ed accessorie, come qui sopra . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . scudi 0,143
Ore 0,326, equivalenti a 0,036 di giornata di barrozza, che da uno scudo e mezzo per giornata importano . . . . . » 0,054

Ascendono insieme le spese di lavoraggio, di trasporto, ed accessorie a . . . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,197
E più un decimo di provvisione . . . . . . . . . . . . » 0,020

Risulta l'importo di ciascun metro cubo del nuovo argine di sc. 0,217

Dei tre importi elementari del nuovo argine il primo è notabilmente maggiore di ciascuno degli altri due; e quindi si scorge che in questo caso l'economia esigerebbe che il trasporto delle terre venisse eseguito per mezzo di carriuole. Ed intanto moltiplicando il volume totale del nuovo argine, che è di m. c. 1578,672 per scudi 0,129, ch'è il costo di ciascun metro cubo di terra in costruzione, nell'ipotesi appunto che si effettui il trasporto delle terre per mezzo di carriuole, si viene in chiaro che la spesa occorrente per l'esecuzione dell'opera sarebbe di scudi 203,649.

## CAPO IV.

*Della distanza, e dell' economia de' trasporti.*

§. 1005. La distanza del trasporto è quella, che dev'essere percorsa dal veicolo, per far passare le terre dal luogo in cui esistono a quello che sono destinate ad occupare. Rigorosamente parlando nei lavori di terra codesta distanza è diversa per tutti i diversi punti, o sia per tutte le diverse molecole del solido che dev' essere rimosso. Quindi nasce la necessità di determinare, corrispondentemente alle posizioni rispettive, ed alle figure dei solidi di sterro, e di riporto, non che alla giacitura del suolo interposto, una distanza fittizia, la quale supponendosi comune a tutte le molecole da trasportarsi, ne risulti la spesa generale dal trasporto, nè più nè meno di quello, che dev'essere nelle reali circostanze del caso. Codesta distanza fittizia comunemente viene denominata *distanza media* del trasporto. E siccome la spesa effettiva dal trasporto è il prodotto del costo elementare della trasportazione pel volume della materia da trasportarsi: ed il costo elementare è proporzionale alla lunghezza del viaggio; così è chiaro che la distanza media moltiplicata pel volume di tutto il solido di terra, che deve essere traslocato, convien che dia un prodotto uguale alla somma di tutti i prodotti delle molecole componenti per le rispettive distanze.

§. 1006. La distanza media del trasporto vuol essere determinata nella supposizione che ciascuna molecola, dal punto che occupa nel solido di sterro, venga portata ad occupare nel solido di riporto quel tal punto, che corrisponde alla condizione della massima economia della totalità de' trasporti. Codesta condizione manifestamente richiede che la somma dei prodotti di tutte le molecole elementari pei rispettivi viaggi, o distanze, abbia un valore minimo. Dal che agevolmente si deduce, che nella prefata supposizione la distanza media del trasporto si confonde con la distanza che passa fra i due centri di gravità del solido di sterro, e del solido di riporto. Ciò per altro quanto generalmente è vero in astratto, altrettanto è raro che si verifichi ne' casi pratici; atteso gli ostacoli, che per lo più impediscono che le masse elementari possano percorrere direttamente quel cammino, che all' annunziata condizione della massima economia sarebbe conforme. E quindi ne segue che la determinazione della distanza media convien che sia dedotta in pratica non semplicemente dalle figure geometriche, e dalle rispettive posizioni, dello spazio che deve vuotarsi e di quello che dev' essere riempito, cioè dello sterro, e del riporto, ma bensì ancora, come si accennò da principio, dalle circostanze

del suolo interposto, e delle diverse vie, che dipendentemente da tali circostanze debbono essere percorse dai veicoli, per effettuare il pieno trasporto.

§. 1007. A questo riguardo si offrono in pratica tre diversi casi; cioè il primo quando sono date le figure, e le posizioni dello sterro, e del riporto, ed insieme le varie vie che debbono essere percorse dai veicoli; il secondo allorchè sono dati di figura, e di posizione i due solidi, e sono semplicemente prescritte alcune condizioni relativamente alle strade pel trasporto; il terzo finalmente quando sono soltanto note alcune proprietà dei due solidi dello sterro, e del riporto. Da queste tre diverse specie di casi può farsi scaturire una moltitudine di problemi, alla soluzione dei quali si sono dedicati singolarmente il Monge (1) e il Dupin (2) in Francia, ed in Italia il Bordoni nel dotto suo trattato degli argini di terra (3). È forza però di confessare che le sottili investigazioni di quei sapienti su tale materia, mentre hanno raccolta una nuova messe di belle applicazioni ne' dominii delle matematiche discipline, poco o nulla di giovamento hanno recato alla pratica: poichè le formole analitiche, a cui si perviene nelle soluzioni di sì fatti problemi involgono tali difficoltà di calcolo, che nell' effettive determinazioni esigerebbero, come avvertiva il Navier (4), più tempo, e più fatica d'una ricerca fatta a tentone, per mezzo di cui si possono ottenere dei risultati, se non rigorosi, almeno abbastanza approssimativi per le pratiche occorrenze.

§. 1008. Con formole analitiche generali, e di facile applicazione alle circostanze di casi, che più frequentemente occorrono, sono stati risoluti i problemi tutti compresi nella prima delle tre distinte categorie di casi, in una dissertazione manoscritta divulgatasi recentemente negli stati lombardo-veneti, di cui ignoriamo l'autore. A farne conoscere il merito, e l'utilità sarà sufficiente di seguirne rapidamente le tracce, e di notarne i risultati.

Il viaggio delle materie, che dall'interno del solido di sterro, di cui facevan parte, vengono portate nell'interno del solido di riporto, si distingue naturalmente in tre parti, o tronchi. Il primo di tali tronchi comincia dal punto di partenza della materia dentro lo sterro, e termina al punto d'onde è destinato che le materie debbano sortir dallo sterro. Il secondo tronco ha principio nel punto, d'onde le materie escono dallo sterro, e termina all'altro, per cui è stabilito che debbano aver ingresso

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1781.
(2) *Correspondence sur l'ecole imperiale polythecnique*, N. 7.
(3) Milano 1820, parte III.
(4) Nella sua nota alla fine della sez. I. cap. II. lib. IV. dell'opera più volte citata del Gauthey.

nel solido del rilevato. Il terzo tronco finalmente ha origine al termine del precedente, e finisce nell' interno del rilevato, in quel punto, dove la materia deve fermarsi. Il secondo tronco è comune a tutte le molecole di materia, che dallo sterro debbono passare nel rilevato; ed è dato, poichè supponghiamo che sieno prescritte le vie, che debbono esser percorse dai veicoli fra lo sterro, ed il riporto (§. 1007). Ma così il primo come il terzo tronco del viaggio sono diversi per ciascheduna molecola, che deve passare dallo sterro nel riporto; ed è quindi d' uopo di determinare tanto per l' uno, quanto per l' altro di essi, una distanza media equivalente, nel senso già da prima spiegato (§. 2005). Ed è poi facile a vedersi che il tronco primo, o sia il viaggio dentro lo sterro, tanto se si considera distintamente per ciascheduna molecola da trasportarsi, quanto se si considera la distanza media equivalente, si distingue necessariamente in due parti, una orizzontale dal punto d' onde la terra vien tolta fino al piede della salita, per cui deve ascendere fin sulle sponde, l' altra verticale che è l' altezza dell' anzidetta salita. E così pure è chiaro che il tronco terzo, o sia il viaggio dentro il riporto, si distingue in due parti, una verticale, cioè l' altezza della salita, che dev' esser percorsa dalla terra per ascendere, o per discendere fino a quel piano orizzontale, in cui deve prender luogo, l' altra orizzontale, vale a dire dalla sommità, o dal piede della detta salita, per portarsi al punto in cui deve fermarsi sopra quel piano orizzontale. La totale distanza media pel trasporto delle terre da uno sterro ad un riporto sarà dunque uguale alla somma della lunghezza della via esteriore dallo sterro al riporto, la quale per ipotesi è data e dei quattro viaggi medi, due orizzontali, e due inclinati, dentro gli spazi dello sterro, e del riporto. Tutto il punto si riduce alla determinazione di questi quattro viaggi medi interni ai due solidi.

§. 1009. Il viaggio orizzontale medio $\Delta$ dentro un solido di sterro o di riporto è generalmente espresso dalla formola

$$\Delta = \frac{\int F_{(z)} \varphi_{(z)} dz}{\int \varphi_{(z)} dz}$$

ove $z$ è l' ascissa verticale, o sia la profondità variabile dei vari strati orizzontali dello sterro, o del riporto, sotto, o sopra un dato piano orizzontale, ed $F_{(z)}$, $\varphi_{(z)}$ sono funzioni di $z$, dipendenti dalla figura, e dalla grandezza del solido, e dalla posizione del punto per cui le materie debbono uscire dal solido, od entrare in esso.

§. 1010. L' altezza verticale media della salita, o della discesa delle materie dentro il solido di sterro, o di riporto, facilmente si può

dimostrare essere uguale alla distanza del centro di gravità del solido dal piano orizzontale che passa per la sommità della salita, ovvero pel punto infimo della discesa, secondo che la materia è obbligata ad ascendere, o a discendere dentro il solido stesso. Ma codesta altezza, per poter essere superata dai veicoli nel trasporto delle terre, convien che sia convertita in una strada inclinata, la di cui lunghezza si ottiene moltiplicando l'altezza stessa per un coefficiente costante $\omega$, che è il rapporto dell'unità al seno dell'angolo, a cui per esperienza si è conosciuto conveniente di limitare l'inclinazione all'orizzontale dei tratti in salita nelle vie de' trasporti. Se dunque dicasi $A$ l'altezza media, il viaggio medio delle terre in salita, o in discesa dentro il solido sarà espresso da $A\omega$.

§. 1011. Quando l'altezza della salita, o della discesa non è maggiore di m. 5, il coefficiente $\omega$ può essere determinato per mezzo della seguente tabella, che è stata formata in conformità delle inclinazioni solite ad essere assegnate ai tratti di salita e di discesa nelle vie de' trasporti. Quando poi l'altezze verticali oltrepassano i m. 5, suol assegnarsi al coefficiente $\omega$ il valore costante 12,5, tanto se si tratta di strade in salita, quanto se si tratta di strade in discesa.

TABELLA

*Per le determinazioni del coefficente $\omega$*

| Altezze verticali | Valori di $\omega$ | |
|---|---|---|
| | Per le salite | Per le discese |
| Da m. 0 a m. 1 . . . . . . | 4,00 | 3,00 |
| Da m. 1 a m. 2 . . . . . . | 5,50 | 4,00 |
| Da m. 2 a m. 3 . . . . . . | 7,00 | 5,00 |
| Da m. 3 a m. 4 . . . . . . | 8,50 | 6,00 |
| Da m. 4 a m. 5 . . . . . . | 10,00 | 8,00 |

§. 1012. Quando le circostanze richiedono, o acconsentono che lo sterro, ed il rilevato sieno solidi prismatici paralleli fra loro, o prossimamente tali, e terminati sotto e sopra da superficie piane orizzontali, siccome ordinariamente accade nelle costruzioni degli argini, e delle

parti accessorie di essi (§. 12), potendosi rappresentare i vari tronchi successivi dei due solidi, che vicendevolmente si corrispondono, per le rispettive sezioni medie, ed essendo stabilite le vie del trasporto fra lo sterro, ed il rilevato, tutte in direzione perpendicolare a quelle dei due solidi, e ad uguali distanze scambievoli, che sogliono farsi di m. 15; le formule dei viaggi medii orizzontali, e verticali, dentro i due solidi diventano semplici, e facili a trattarsi. Tuttavia ometteremo per brevità di cercare, e di addurre cotali formole, e ci limiteremo a riportar due tabelle incluse nella detta memoria, le quali ne contengono gli effettivi risultati numerici per una serie di casi, estesa quanto basta per l'ordinarie occorrenze della pratica. Tali tabelle sono calcolate per tutti quei casi, nei quali la sezione media dello sterro, e del rilevato, è di figura trapezia, terminata da due lati orizzontali, dei quali il maggiore non oltrepassi m. 40, ed il minore non superi m. 12.

La tabella I. serve a determinare la salita media verticale per uno sterro, o per un rilevato. Partendo dal numero che nella parte superiore della tabella esprime la larghezza minore della sezione media del solido, si discende per la corrispondente colonna verticale, finchè si arriva incontro al numero, che a sinistra della tabella esprime la larghezza maggiore della stessa sezione media, ed ivi si trova segnato un numero, pel quale moltiplicando l'altezza della sezione media ne risulta l'altezza media cercata. Così se le larghezze della sezione media fossero una di m. 12, l'altra di m. 4, e la sua altezza fosse di m. 5, discendendo per la colonna verticale corrispondente alla larghezza minore 4 fino incontro al numero 12, esistente nella prima colonna verticale a sinistra, si troverebbe il coefficiente 0,42, pel quale moltiplicando l'altezza di m. 5, ne risulterebbe la salita media verticale dello sterro, o del riporto di m. 2, 10. È da notarsi che quando la profondità d'un cavo non è maggiore di m. 2, la salita verticale media delle materie, che debbono essere estratte, è prossimamente, e senza tema d'errore sensibile può farsi uguale alla metà della totale altezza, o profondità.

La tabella II. serve a determinare il viaggio medio orizzontale delle terre dentro uno sterro, ovvero dentro un rilevato. I viaggi medii orizzontali trovansi espressi pel corrispondente numero di metri in una colonna verticale, accanto a quella che contiene i valori, pure in metri, della maggior larghezza della sezione media del solido. Conviene però avvertire che codesti valori de' viaggi medi sono ricavati dalle formole, nell'ipotesi che la differenza fra la larghezza del fondo, e la larghezza in sommità del solido, sia assai tenue, come per lo più succede nei cavi di poca profondità, che si formano pel semplice scopo di ritraerne la terra necessaria per la costruzione di qualche rilevato; poichè in simili casi

non importa di essere molto scrupolosi nell'assegnare alla sponda una scarpa che ne assicuri la stabilità (§. 5). Ma fuori di questo caso, e quindi tutte le volte che si tratta di un argine, o altro rilevato, che debba avere le sue scarpe protratte quanto si richiede per la stabilità, ovvero di un cavo regolare di non poca profondità, i valori del viaggio medio orizzontale registrati nella tabella non sono giusti. Tuttavia può la tabella servire anche nel caso che il solido, sia un cavo, sia un rilevato, abbia quelle scarpe, che sono ordinariamente prescritte per la stabile costituzione delle sponde, purchè si cerchi nella tabella stessa non il viaggio medio corrispondente alla larghezza maggiore effettiva della sezione media, ma bensì al prodotto di codesta larghezza maggiore pel coefficiente costante 0,7. Così per esempio se si trattasse d'un argine, o d'un cavo a grandi scarpe, di cui la maggior larghezza nella sezione media fosse di m. 9, si dovrebbe moltiplicar questa per 0,7, onde risulterebbe il prodotto di m. 6,30; e quindi cercando nella tabella II. il viaggio medio orizzontale corrispondente alla larghezza di m. 6, che è la più prossima a m. 6,30, che si trovi nella tabella stessa, si rinverrebbe il cercato valore del viaggio medio orizzontale di m. 5. Giova poi d'avvertire che quando si tratta d'un cavo che abbia di larghezza oltre a m. 40, il viaggio orizzontale medio interno può assumersi, senza incorrere in un errore valutabile, uguale alla metà della larghezza stessa.

## TABELLA I.

*Per determinare il viaggio medio verticale della terra dentro una cava, o dentro un rilevato, avente la maggior larghezza compresa fra m. 1, e m. 40, e la larghezza minore compresa fra m. 1, e m. 12.*

| Larghezze maggiori | Larghezze minori | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 0,50 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,44 | 0,50 | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,41 | 0,47 | 0,50 | | | | | | | | | |
| 4 | 0,40 | 0,44 | 0,48 | 0,50 | | | | | | | | |
| 5 | 0,39 | 0,43 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | | | | | | | |
| 6 | 0,38 | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,48 | 0,50 | | | | | | |
| 7 | 0,38 | 0,41 | 0,43 | 0,45 | 0,47 | 0,49 | 0,50 | | | | | |
| 8 | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | | | | |
| 9 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,44 | 0,45 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | | | |
| 10 | 0,36 | 0,39 | 0,41 | 0,43 | 0,44 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | | |
| 12 | 0,36 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,50 |
| 14 | 0,35 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,49 |
| 16 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 | 0,48 |
| 18 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 |
| 20 | 0,35 | 0,36 | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,44 | 0,45 | 0,46 |
| 23 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,44 | 0,45 |
| 27 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,42 | 0,43 | 0,44 |
| 31 | 0,34 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | 0,41 | 0,42 | 0,43 |
| 36 | 0,34 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,40 | 0,40 | 0,41 | 0,41 |
| 40 | 0,34 | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,40 | 0,41 | [illegible] |

## TABELLA II.

***Per la determinazione del viaggio medio orizzontale delle terre dentro una cava o dentro un argine dipendentemente dalla maggiore larghezza della sezione media, compresa fra m. 1, e m. 40.***

| Larghezza maggiore della sezione media | Viaggio medio orizzontale | Osservazioni | Larghezza maggiore della sezione media | Viaggio medio orizzontale | Osservazioni |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 4,00 | | 21 | 11,50 | |
| 3 | 4,00 | | 22 | 12,00 | |
| 4 | 4,50 | | 23 | 12,50 | |
| 5 | 5,00 | | 24 | 13,00 | |
| 6 | 5,00 | | 25 | 13,50 | |
| 7 | 5,50 | | 26 | 14,00 | |
| 8 | 6,00 | La metà della larghezza più m. 2. | 27 | 14,50 | |
| 9 | 6,50 | | 28 | 15,00 | |
| 10 | 7,00 | | 29 | 15,50 | La metà della larghezza più un metro. |
| 11 | 7,00 | | 30 | 16,00 | |
| 12 | 7,50 | | 31 | 16,50 | |
| 13 | 8,00 | | 32 | 17,00 | |
| 14 | 8,50 | | 33 | 17,50 | |
| 15 | 9,00 | La metà della larghezza più m. 1,50. | 34 | 18,00 | |
| 16 | 9,50 | | 35 | 18,50 | |
| 17 | 10,00 | | 36 | 19,00 | |
| 18 | 10,50 | | 37 | 19,50 | |
| 19 | 11,00 | | 38 | 20,00 | |
| 20 | 11,00 | | 39 | 20,50 | |
| | | | 40 | 21 | |

§. 1013. Le distanze che debbono esser percorse in salita dai veicoli carichi nel trasporto delle terre, o d'altre materie, per comodo del calcolo si convertono in un viaggio orizzontele fittizio equivalente; il che si ottiene aumentando la lunghezza della salita di tanto, quanto è necessario perchè ne risulti quella lunghezza, che può esser percorsa in piano nello stesso tempo, che il veicolo deve impiegare a percorrere la data salita. Ora l'esperienza ha mostrato che l'uomo applicato a spingere una carriuola carica, in quel tempo in cui è capace di percorrere lo spazio di m. 30 per un cammino orizzontale, non può avanzare che di soli m. 20 in salita; e che i veicoli carichi tirati da cavalli, o da bovi impiegano a percorrere m. 75 di salita quello stesso tempo, nel quale in

una strada piana possono fare m. 100 di cammino. Da tali risultati dell'esperienza si deduce, che quando si voglia per comodo dei calcoli ridurre il cammino dei veicoli carichi in salita ad un equivalente cammino orizzontale, chiamando $x$ la lunghezza della salita, la distanza orizzontale equivalente sarà espressa da $\frac{3x}{2} = 1,5x$, qualora si tratti di trasporti da eseguirsi per mezzo di carriuole; e da $\frac{4x}{3} = 1,33x$, le quante volte le materie debbano essere trasportate per mezzo di carrette tirate da cavalli, o da bovi. Quando poi le strade inclinate debbano essere percorse o in salita dai veicoli vuoti, ovvero in discesa dai veicoli comunque carichi, o scarichi, si considerano come orizzontali per la lunghezza loro effettiva; essendo che per esperienza si è conosciuto, che la velocità dei veicoli carichi non si ritarda nelle strade in discesa: e che parimenti il movimento dei veicoli non si rallenta sensibilmente nelle salite sempre che essi sieno scarichi. Tutto ciò per altro è legato alla condizione che la pendenza longitudinale dei tratti in salita, o in discesa, non sia maggiore dell'otto per cento; poichè oltre questo limite di pendenza le strade diventano troppo disagevoli ai veicoli carichi o scarichi, che debbono ascendere o discendere per esse: ed è perciò questo il limite a cui è generalmente prescritto di attenersi nella formazione delle strade provvisionali destinate ai trasporti delle terre, e ne' calcoli riferibili allo stesso oggetto.

§. 1014. Ora si scorgerà facilmente come a seconda delle premesse massime, e col sussidio delle tabelle apprestateci dal benemerito autore dell'anzidetta dissertazione (§. 1008), si potrà dedurre con somma speditezza il totale viaggio medio orizzontale attribuibile alle terre, che da uno sterro debbono essere trasportate in un rilevato, tutte le volte che i due solidi sieno figurati, e disposti in conformità dell'ultima supposizione (§. 1012), a cui corrispondono se non a rigore almeno prossimamente la maggior parte dei casi pratici. Se per esempio si dovrà costruire un argine, prendendo la terra occorrente da un cavo parallelo all'andamento dell'argine stesso, il viaggio totale medio orizzontale dei veicoli nel trasportare le terre del cavo nell'argine risulterà eguale al viaggio orizzontale medio dentro la cava determinato mediante la tabella II.ª (§. precit.); più la salita verticale dentro la cava dedotta per mezzo della tabella I.ª e moltiplicata pel coefficiente $\omega$ opportunamente ricavato dall'apposita tabella (§. 1011.), e quindi pel coefficiente 1,50, ovvero pel coefficiente 1,33, secondo che il trasporto deve essere effettuato per mezzo di carriuole, ovvero per mezzo di carrette, o di barrozze

(§. 1013); più la lunghezza della strada esteriore fra il cavo ed il rilevato, in cui se esiste qualche tratto in salita, convien che sia moltiplicato esso pure o pel coefficiente 1,50, o pel coefficiente 1,33, giusta la distinzione premenzionata; più la salita verticale dentro l'argine opportunamente dedotta dalla tabella I.ª moltiplicata pel valore di $\varpi$, che le corrisponde, e quindi per quello dei due coefficienti numerici 1,50, ovvero 1,33, che compete alla qualità dei veicoli di cui si vuol far uso; più finalmente il viaggio orizzontale medio dentro l'argine ricavato per mezzo della tabella II.ª Ed in ordine ai veicoli, che ritornano vuoti al carico, il viaggio orizzontale medio totale sarà l'aggregato di tutti gli anzidetti viaggi parziali; omesse le moltiplicazioni dei tratti inclinati per l'uno, o per l'altro dei coefficienti 1,50, ed 1,33, per la ragione avvertita nel paragrafo antecedente.

Se la terra per la costruzione dell' argine dovesse prendersi ripartitamente da due cavi, uno a destra, l'altro a sinistra di esso, converrebbe dividere la sezione media dell' argine in due parti corrispondenti alle sezioni medie de' rispettivi cavi laterali, e quindi fare separatamente il conto del viaggio medio per la terra, che da ciascuna cava deve passare nell'una, o nell'altra delle due parti del rilevato. Gioverà il seguente esempio a far più chiaramente, e più minutamente comprendere il metodo da tenersi nelle determinazioni di cui si tratta.

§. 1015. Debbasi costruire un tronco d'argine largo nella sua sommità m. 8, con le sue scarpe costituite nel saggio del 1,75 di base per uno d'altezza, e di cui la media altezza longitudinale sia di m. 6,80: essendo prescritto che la terra necessaria per costruirlo debba essere tratta parte nella golena alla distanza di m. 4 dal piede interno dell'argine da un cavo largo m. 25; spinto alla profondità di m. 1,60; ed il resto nella campagna alla distanza di m. 35 dal piede esterno dell'argine, da un cavo portato alla medesima profondità di m. 1,60. Si vogliono determinare i viaggi medi delle terre, che partono da ciascuna delle due cave, e sono portate alla costruzione dell'argine.

La sezione media dell' argine consiste in un trapezio di cui la base superiore è di m. 8, l'altezza di m. 6,80, e la base inferiore di m. 31,80, che per comodo di calcolo può supporsi di m. 32 tondi. Quindi l'area della stessa sezione media sarà di m. 9,136. La sezione media del cavo in golena è un trapezio, che ha di altezza m. 1,60, e la base superiore di m. 25: e poichè poca scarpa basta che sia assegnata alle sue sponde, possiamo supporla d' un metro a tutta la profondità del cavo, onde ne risulta la base inferiore della sezione di questo di m. 23, e l'area di tal sezione m. q. 38,40. Ne segue che l'area della sezione del cavo in campagna dovrà essere di m. q. 97,60;

e quindi che la sua larghezza superiore, tenendo la stessa scarpa che si è assunta per la cava in golena, dovrà essere di m. 62.

Considerando primieramente il viaggio delle materie che provengono dalla cava aperta nella campagna, osserveremo che la salita verticale delle terre dentro di questa cava risulta di m. 0,80 (§. 1012), la quale moltiplicata per $\omega = 4$ (§. 1011), dà la lunghezza del viaggio in salita dentro la cava di m. 3,20, equivalenti a m. 4,80 di viaggio orizzontale, poichè supporremo che il trasporto debba effettuarsi per mezzo di carriuole. Essendo poi la larghezza della cava maggiore di m. 40, il viaggio medio orizzontale dentro di essa sappiamo che è molto prossimamente uguale alla metà dell'effettiva larghezza, onde nel caso attuale sarà di m. 31.

La lunghezza della strada esteriore fra il cavo, ed il rilevato è uguale alla distanza che disgiunge questi due solidi, e perciò, giusta l'ipotesi, di m. 35.

Finalmente convien determinare il viaggio delle terre dentro l'argine. Il viaggio medio orizzontale si ottiene mediante la tabella II.ª (§. 1012), moltiplicando prima di tutto la larghezza inferiore dell'argine, che è di m. 32, per 0,7, con che si ottiene il prodotto 22,4, o sia prossimamente 22, e cercando poscia nella detta tabella il viaggio medio orizzontale corrispondente alla larghezza 22; e così trovasi il viaggio medio di m. 12, del quale però due terzi soltanto, cioè m. 8, debbono attribuirsi alle terre provenienti dal cavo in campagna, e l'altro terzo, cioè m. 4, alla terra che si trae dalla cava in golena, essendo questi prossimamente i rapporti che esistono fra le quantità delle terre provenienti dalle due cave, ed il volume totale del rilevato. Quindi il viaggio orizzontale medio dentro l'argine delle terre cavate in campagna è di m. 8. La salita media verticale delle terre dentro l'argine si trova mediante la tabella Iª. (§. 1012), col moltiplicare l'altezza m. 6,80 dell'argine per 0,40, che è il numero corrispondente alle due larghezze 8, e 31; questa seconda essendo nella tabella la più prossima all'effettiva larghezza inferiore dell'argine, che è di m. 32, numero non esistente nella tabella. Quindi si ottiene in effetto la salita media verticale di m. 2,72, che moltiplicata per $\omega = 7$ (§. 1011), dà la larghezza del viaggio in salita per alzar le terre dentro l'argine, di m. 19, più una frazione tenuissima, che si trascura. Codesto viaggio in salita lungo m. 19 equivale ad un viaggio orizzontale della lunghezza di m. 28, 50.

Riepilogando tutti questi parziali risultati ottenuti, si deduce la distanza media totale delle terre, che dalla campagna debbono esser portate nell'argine, tutta ridotta a viaggio orizzontale, come segue.

| | | |
|---|---|---|
| Viaggio orizzontale dentro la cava . . | metri | 31,00 |
| Per salire fuori della cava. . . . . . . | » | 4,80 |
| Dal labbro della cava al piede dell'argine . | » | 35,00 |
| Per salire dentro l'argine . . . . . . . | » | 28,50 |
| Viaggio orizzontale dentro l'argine . . | » | 8,00 |
| Distanza media totale, | metri | 107,30 |

Questo dunque sarebbe il viaggio medio dei veicoli che vanno carichi dalla cava all'argine. Ma nel ritorno dei veicoli scarichi alla cava il viaggio medio è alquanto diverso, poichè come si è detto (§. 1013) la lunghezza delle discese, e molto più poi dovendo queste esser percorse dai veicoli vuoti, si deve computare pel suo valore effettivo come, se fosse un tratto orizzontale. Quindi avremo il viaggio medio pel ritorno delle carriuole scariche alla cava, come qui appresso.

| | | |
|---|---|---|
| Viaggio orizzontale dentro l'argine, . . | metri | 8,00 |
| Per discendere fuori dell'argine . . . . | » | 19,00 |
| Dal piede dell'argine al labbro della cava. | » | 35,00 |
| Per discendere nella cava . . . . . . | » | 3,20 |
| Viaggio orizzontale dentro la cava . . . | » | 31,00 |
| Distanza media totale, | metri | 96,20 |

Procedendo con ugual metodo per ciò che riguarda le terre, che debbono essere cavate in golena, si troverà il viaggio totale medio delle carriuole nel trasporto effettivo delle terre dal cavo nell'argine, come segue.

| | | |
|---|---|---|
| Viaggio orizzontale dentro la cava, . . | metri | 13,50 |
| Per salire fuori della cava . . . . . . . | » | 4,80 |
| Dal labbro della cava al piede dell'argine . | » | 4,00 |
| Per salire dentro l'argine . . . . . . . | » | 28,50 |
| Viaggio orizzontale dentro l'argine . . . | » | 4,00 |
| Distanza media totale, | metri | 54,80 |

E pel ritorno delle carriuole vuote alla cava si avrebbe il viaggio totale medio, come risulta dal qui annesso ristretto.

| | | |
|---|---|---|
| Viaggio orizzontale dentro l'argine, . . | metri | 4,00 |
| Per calare fuori dell'argine . . . . . . | » | 19,00 |
| Dal piede dell'argine al labbro del cavo . | » | 4,00 |
| Per discendere nella cava . . . . . . | » | 3,20 |
| Viaggio orizzontale dentro la cava . . . | » | 13,50 |
| Distanza media totale | metri | 43,70 |

§. 1016. La distanza media del trasporto vien dedotta, giusta gli esposti principii, dall'ipotesi che la somma dei prodotti delle masse elementari, che debbono passare dalla cava nel rilevato per le lunghezze dei rispettivi viaggi, sia un minimo; onde sia minima anche la spesa del trasporto. Per lo che nelle stime dei lavori di terra la condizione della massima economia de'trasporti, dipendentemente dal cammino che dovrà essere percorso dai veicoli, viene ad essere introdotta, le quante volte i prezzi elementari del trasporto per le varie masse di terra, provenienti dalle diverse cave, sieno stati calcolati in corrispondenza alle distanze medie competenti alle singole masse parziali, e determinate come si è detto di sopra. Affinchè poi nella pratica esecuzione dell'opera la divisata economia possa avere effetto, è d'uopo d'ordinare le cose opportunamente, curando la massima brevità delle vie, e che queste non vengano ad incrociarsi; ed avvertendo che le strade non si avvicinino troppo l'una all'altra, affinchè nè i lavoranti addetti al carico, e allo scarico, nè i veicoli che vanno, e vengono, abbiano a recarsi vicendevole imbarazzo. Per quest'ultimo oggetto abbiamo già precedentemente notato (§.1012) che nelle costruzioni degli argini si pratica di stabilire le vie de' trasporti a distanza di m. 15 l'una dall'altra.

L'effettivo conseguimento della massima economia de' trasporti è interesse tutto meramente dell'impresario, allorchè l'esecuzione dell'opera è data in appalto; ma quando i lavori si fanno in amministrazione, e come anche dicesi *per economia*, o pure *in via economica* per conto di qualche azienda pubblica, o privata, siccome ogni risparmio va a benefizio dell'azienda stessa, così le cure dell'architetto, cui è affidata la direzione dell'opera, debbono anche essere rivolte a regolare i trasporti, e così dicasi d'ogni altra operazione, in guisa che abbiano ad essere effettuate col minor possibile dispendio.

§. 1017. Un altro punto interessante in ordine all'economia de' lavori di terra si è la scelta opportuna de' mezzi di trasporto; il quale perciò dev'essere diffinito allorchè si procede alla stima dell'opera. Su di che è primieramente d'uopo d'avvertire che il maggior risparmio, derivante dal prescrivere l'uso piuttosto d'una che d'un'altra specie di veicoli, dipende non solo dalla diversità che può esservi fra i prezzi del trasporto effettivo in grazia dell'altezze, delle capacità, delle velocità, e dei noli giornalieri, che hanno valori differenti per le varie specie di veicoli, ma ben'anche dall'influenza che ha la qualità dei veicoli sull'importo d'alcune altre operazioni elementari, quali sono segnatamente il carico, la paleggiatura, e lo spandimento delle materie. In ogni caso si può render palese quale fra i vari partiti sia il più economico dal semplice confronto degl'importi elementari del lavoro, dedotti distintamente con

regolari analisi per le diverse ipotesi delle varie specie di veicoli che potrebbero essere impiegate; siccome appunto si è praticato nei due esempi addotti alla fine del precedente capitolo. Ma siccome accade che quando sono costanti i prezzi giornalieri delle mercedi de' lavoranti; e dei noli de' veicoli, la convenienza di preferire in riga d'economia un'altra sorta di veicoli, è relativa alle diverse distanze de' trasporti, talmente che mentre per una tal distanza si trova più economico l'uso d'una specie di veicoli, per un'altra distanza maggiore, o minore di quella, addiviene più vantaggioso l'impiego di veicoli d'altra specie: come se ne ha una prova ne' summenzionati due esempi; così è ben fatto che gli architetti conoscano come si possa indagare *a priori* quali siano i limiti della distanza, ai quali cessa di esser più vantaggioso l'uso d'una specie di veicoli, e comincia ad essere più utile il servirsi di qualche altra sorta di mezzi di trasporto; perchè così conosciuti codesti limiti, data che sia la distanza del trasporto, si potrà in ogni caso decidere di quali veicoli si debba a preferenza far uso, senza che sia d'uopo di calcolar distintamente il costo elementare del lavoro, per tutte le varie specie di veicoli, che potrebbero essere impiegate. Come si debba procedere in sì fatta indagine apparirà dal seguente esemplo.

§. 1018. Prenderemo a soggetto di confronto tre specie di veicoli; la carriuola di forma e dimensioni regolari (§. 816), la carretta romana a cassa tirata da un cavallo, e la barrozza parimente romana a cassa tirata da bovi (§. 826). Le capacità di questi diversi mezzi di trasporto, secondo l'ordine con cui gli abbiamo nominati, sono m. c. 0,030, m. c. 0,353, e m. c. 0,529. Supporremo, conforme già negli esempi alla fine del capo precedente, ed a seconda de' prezzi ordinari presenti di Roma, che la mercede giornaliera del lavorante terraiuolo sia di baiocchi 30, che il nolo giornaliero della carretta sia di uno scudo e baiocchi 20, e che quello della barrozza sia di uno scudo, e baiocchi 50. Siccome poi i prezzi orari sono proporzionali ai prezzi giornalieri, e la durata della giornata lavorativa è la stessa pei lavoranti, e pei veicoli d'ogni specie, così potremo assumere le mercedi giornaliere come mercedi orarie, il che non altererà i risultati del confronto che dobbiamo istituire: quantunque i valori assoluti dei prezzi elementari delle varie operazioni, cui distintamente dedurremo per ciaschedunna specie de' veicoli, per essere ridotti al vero dovrebbero tutti esser divisi per quel numero d'ore, che esprime la durata effettiva del lavoro in una giornata. Supporremo che la terra sia di qualità media fra la dolce, e la forte, e quindi assumendo dei tempi medi fra quelli che corrispondono, giusta i risultati dell'esperienza, alle terre dolci, ed alle forti per l'esecuzione dei vari lavori elementari (§. 990.), riterremo che si richieggano ore 0,70 di

lavorante terraiuolo per la paleggiatura, ore 0,65 pel carico sopra carriuole, ore 0,70 pel carico sopra carrette, o sopra barrozze, finalmente ore 0,20 per lo spandimento d'un metro cubo di terra. Ciò posto, se chiamiamo $S'$, $S''$, $S'''$ le somme delle spese occorrenti per la paleggiatura, pel carico, pel trasporto, e per lo spandimento d'un metro cubo di terra, secondo che il trasporto dev'essere eseguito o per mezzo di carriuole, o con l'uso delle carrette, ovvero per mezzo di barrozze, e denominiamo $x$ la distanza variabile del trasporto, troveremo facilmente

$$S' = 0{,}720 + 0{,}005555\,x,$$
$$S'' = 0{,}780 + 0{,}001889\,x,$$
$$S''' = 0{,}855 + 0{,}001890\,x.$$

Avvertasi che nella determinazione del valore di $S'$ si è supposto uguale a zero tanto il tempo del paleggiamento, quanto quello della spanditura.

Considerando ora i tre valori di $S'$, di $S''$, di $S''$, si scorge a colpo d'occhio che $S'''$ è sempre maggiore di $S''$, qualunque valore si voglia assegnare ad $x$; e quindi si deduce immediatamente che, a qualsivoglia distanza debba essere fatto il trasporto delle terre, è sempre più dispendiosa l'operazione quando s'impieghino le barrozze, di quello che quando s'adoperino le carrette. Che se paragoniamo il valore di $S'$ con quello di $S''$, e con quello di $S'''$, ci avvediamo, che quando sia $x$ uguale, o poco superiore all'unità, la prima di queste tre quantità è minore della seconda, ed anche della terza; e che crescendo poi gradatamente il valore d'$x$, crescono anche le quantità $S', S'', S'''$ ma la prima più rapidamente di ciascheduna delle altre due. Dal che si deduce che a forza di venire aumentando sempre più il valore d'$x$ si dovrà giungere ad un valore tale, che renda $S' = S''$, e così a qualche altro valore d'$x$ che rende $S' = S'''$; e che crescendo poi $x$ oltre quel valore che rende $S' = S''$, ovvero $S' = S'''$, farà diventare $S'$ maggiore di $S''$, ovvero $S'$ maggiore di $S'''$. Ed è quindi manifesto che quei valori d'$x$, per cui sarà $S' = S''$, o $S' = S'''$, saranno i giusti limiti della distanza $x$, ai quali cessa l'utilità della carriuola, e comincia ad essere più conforme all'economia l'uso delle carrette, ovvero delle barrozze. Dall'equazione $S' = S''$ si ricava $x$ uguale a poco meno di 140; e dall'altra equazione $S' = S'''$ si ottiene $x$ uguale a poco meno di 150. Concluderemo dunque che, finchè si tratta di trasportar delle terre a distanze non maggiori di m. 140, le carriuole sono più economiche delle carrette, e che per le distanze maggiori di m. 140 l'uso delle carrette è più utile di quello delle carriuole; e così pure che

per le distanze che non eccedono m. 150, il trasporto delle terre costa meno con le carriuole che con le barrozze, e che per le distanze che oltrepassano il detto limite l'uso delle barrozze porta una spesa minore di quella che deriverebbe dall'impiego delle carriuole.

§. 1019. I limiti ora determinati segnano le distanze, alle quali cerca l'utilità delle carriuole, ed incomincia quella delle carrette, ovvero delle barrozze, nell'ipotesi che facendo uso di carriuole non sia necessaria la paleggiatura delle terre fuori del cavo. Ma se per la strettezza di questo non fosse permesso alle carriuole d'entrarvi, e quindi le terre dovessero essere paleggiate sulle sponde, si avrebbe nell'ipotesi del trasporto eseguito con carriuole

$$S' = 0,405 + 0,005555\,x,$$

e quindi l'equazione $S' = S''$, darebbe $x$ uguale a m. 102, e dall'altra equazione $S' = S'''$, si ricaverebbe $x$ uguale a m. 123.

§. 1020. Che se le terre non avessero ad essere portate in argine, e quindi non occorresse il regolare spandimento di esse, ripigliando da principio la soluzione del problema si troverebbe

$$S' = 0,270 + 0,005555\,x,$$
$$S'' = 0,720 + 0,001889\,x,$$
$$S''' = 0,795 + 0,001890\,x;$$

e l'equazioni $S' = S''$, $S' = S'''$, darebbero la prima $x$ uguale a m. 123, e la seconda $x$ uguale a m. 143.

Ed in questo caso, nell'ipotesi che occorresse il paleggiamento delle terre, quandanche si avesse a far uso di carriuole sarebbe come sopra.

$$S' = 0,405 + 0,005555\,x;$$

e i valori d'$x$ risultanti dalle due solite equazioni sarebbero di m. 86, e di m. 106, il primo de' quali indicherebbe il limite della distanza, ove l'uso delle carrette comincia ad essere più economico di quello delle carriuole, ed il secondo farebbe conoscere a qual distanza l'impiego delle barrozze cominci ad essere più economico di quello delle carriuole.

§. 1021. Nella Francia le carrette ad un cavallo, che si adoperano per lunghi trasporti delle terre, sono della capacità di un mezzo metro cubo. Ed all'uso medesimo sono pure colà destinate delle carrette

di maggior capacità tirate da due, da tre, o da quattro cavalli, alcune cioè che contengono un metro cubo di terra, e sono tirate da due cavalli, altre che hanno la capacità di un metro e mezzo cubo, alle quali si attaccano tre cavalli, e così finalmente dell'altra della capacità di due metri cubi tirate da quattro cavalli. Ciaschedun cavallo tira così ne' trasporti il carico di mezzo metro cubo di terra, vale a dire un peso medio di chilog. 750; conservando ne' trasporti la velocità d'un metro circa per minuto secondo (1), quale appunto è la velocità de' nostri cavalli impiegati ne' trasporti delle terre o d' altre materie minute (§. 995). Un solo carrettiere è addetto alla carretta, qualunque sia la sua capacità, ed il numero de' cavalli ad essa attaccati. Codeste carrette di varie grandezze non s' impiegano indistintamente, nè capricciosamente, ma a seconda della maggiore, o minore distanza, a cui le materie debbono essere trasportate; adoperandosi le più piccole pei brevi trasporti, ove non riesca più utile l' uso delle carriuole (§. 1018), e quindi gradatamente le più grandi pei trasporti a maggiori distanze, onde il trasporto si faccia sempre con quella specie di veicoli, da cui deriva la maggiore economia. Quantunque in Italia non sia in uso questa gradazione di carrette di varie grandezze per le varie distanze de' trasporti ne' grandi lavori di terra, tuttavia non lasceremo di mostrare il metodo opportuno a prefiggere i giusti limiti delle distanze, a cui si rende utile d' adoperare una carretta a qualsivoglia dato numero di cavalli, e di proporzionale capacità, piuttosto che altre carrette di maggiore o di minor portata.

§. 1022. Supponendo che sia $v$ quel volume di terra, che può essere tirato da un cavallo con la velocità d'un metro per minuto secondo in un esercizio regolarmente continuato, e che quindi la capacità di ciascheduna carretta sia stabilita su questa base, a proporzione del numero de' cavalli, da cui dev' essere tirata, sarà generalmente $vz$ la capacità d'una carretta a $z$ cavalli, o sia il volume di terra che essa potrà contenere. Ora se richiamiamo la formola generale del tempo, che un veicolo impiega nel trasporto di un metro cubo di terra alla distanza $x$ (§. 995), avremo per la nostra carretta a $z$ cavalli $t = 0{,}25 + \frac{2x}{3600\,vz}$; e quindi il costo y del trasporto d'un metro cubo di terra alla prefata distanza per mezzo di carrette di tal fatta, denominando $p$ la mercede giornaliera del carrettiere, compreso

(1) V. la nota a pag. 198 nel tomo secondo dell'opera del Gauthey.

il nolo della carretta, $q$ il nolo pur giornaliero di ciaschedun cavallo, ed $n$ il numero delle ore di lavoro diurno, sarà dato dalla formola generale

$$y=(p+qz)\left(0,25+\frac{2x}{3600\,vz}\right).$$

Quindi il costo $y$ del trasporto d'un metro cubo di terra alla medesima distanza $x$ per mezzo di carrette a $z+1$ cavalli si avrà così espresso

$$y'=[p+q(z+1)]\left(0,25+\frac{2x}{3600\,v(z+1)}\right).$$

Ragionando, come già fu fatto nella quistione dello stesso genere risoluta poc'anzi (§. 1018), si viene prontamente a dedurre, che determinando il valore di $x$ mediante l'equazione $y=y'$, in codesto valore sarà l'espressione generale della distanza, fino alla quale si ha maggiore economia eseguendo il trasporto per mezzo di carrette a $z$ cavalli, ed oltre la quale riesce più vantaggioso l'impiego delle carrette a $z+1$ cavalli. Effettuando dunque il calcolo si trova

$$x=\frac{450\,qvz(z+1)}{p},$$

formola in cui è generalmente contenuta la soluzione del problema.

§. 1023. Sarebbe a desiderarsi che s'introducessero in Italia, per l'occorrenze dei grandi lavori di terra, delle carrette della capacità d'un mezzo metro cubo, da farsi tirare ciascuna da un cavallo, in sostituzione delle carrette generalmente più piccole, che sono presso di noi usitate per sì fatte occorrenze. Nè si può dubitare che la forza d'uno de' nostri cavalli potesse valere a tirare il carico di mezzo metro cubo di terra, camminando con quella stessa velocità d'un metro per secondo, che l'esperienza ci ha indotti ad assegnare generalmente ai nostri veicoli da trasporto tirati da cavalli (§. 995); poichè in effetto veggiamo avverata codesta velocità nelle nostre carrette ordinarie della capacità di m. c. 0,353; non solo quando sono piene di terra, ma ben anche quando sono regolarmente cariche d'altre materie, che producono su di esse un peso maggiore o poco minore di quello d'un mezzo metro cubo di terra ordinaria, che non ha guari (§. 1021) dicemmo potersi ragguagliare a chilog. 750. Tanto accade per esempio ne' trasporti de' mattoni ordinari, de' quali ne vanno 333 in una carrettata (§. 828), e questi danno un peso di circa 796

chilogrammi (§. 521); e così pure ne' trasporti de' quadrucci da selciata (§. 123), di cui se ne pongono 300 in una carretta, che pesano 730 chilogrammi, essendo la gravità specifica della lava basaltina, volgarmente chiamata selcio, di 2686 (1). Con tale riforma si verrebbe a vantaggiare non poco nell' economia de' trasporti delle terre. Intanto se in via d' esempio, per l' applicazione della formola generale testè dedotta vogliamo supporre $v=0,353$, che è l' attuale capacità delle nostre carrette a cassa, immaginando che vi fossero altre carrette a due, a tre, a quattro ecc. cavalli, le di cui capacità fossero progressivamente $2v=0,706$, $3v=1,059$ $4v=1,412$, e così via discorrendo, facendo $p=0,50$ scudi, $q=0,70$ scudi, il termine generale della serie de' numeri, che esprimono le distanze, alle quali si addice l' uso delle carrette ad uno, a due, a tre, a quattro ecc, a $z$ cavalli sarà

$$x=222,39\,z\,(z+1)$$

d' onde, facendovi successivamente $z=1$, $z=2$, $z=3$, $z=4$, si ricavano i corrispondenti valori di $x$, cioè la distanza a cui cessa il vantaggio della carretta ad un cavallo, ed incomincia quello della carretta a due cavalli, e così consecutivamente l' altre distanze, alle quali cominciano ad esser utili le carrette a tre, ed a quattro cavalli; e codeste distanze sono, trascurando le frazioni, la prima di m. 445, la seconda di m. 1334, la terza finalmente di m. 2669.

## CAPO V.

### *Lavori di legname, ferramenti, e vernici.*

§. 1024. Nelle stime de' lavori de' legname i prezzi elementari delle diverse parti dell' opera si deducono o relativamente all' unità lineare, o all' unità superficiale, o all' unità di volume, ovvero relativamente alla totalità d' un sistema composto di vari membri, di cui sieno prescritte tutte le dimensioni, le forme, e la disposizione. Di queste differenti maniere di valutazione elementare si fa promiscuamente uso, secondo che le varie parti dell' opera nelle loro dimensioni, e strutture, in tutte, ovvero in talune dell' operazioni elementari per l' apprestamento del legname, che dev' esservi impiegato, offrono una costante uniformità in tutta la loro lunghezza, o in tutta la loro superficie, o in tutto il loro volume, ovvero finalmente nelle rispettive totalità de' singoli sistemi componenti. L' armature de' coperti offrono contemporaneamente nelle diverse parti, di cui sono composte, tutti i distinti casi ora annunziati (§. 280). Il colmereccio, e così pure ciascheduno dei paradossi, in tutta la sua estensione longitudinale ha una riquadratura

(1) V. la tabella alla fine del cap. II lib. II.

costante, ed esige per tutto lo stesso lavoraggio, e quindi la valutazione di essi può esser desunta del costo dell'unità lineare. I palombelli, occorrenti, sono tutti d'eguale riquadratura, ed egualmente distribuiti nelle falde del coperto, talmentechè in ciaschedun metro quadrato della superficie di esse falde ne è contenuto uno stesso numero, e tutti della stessa lunghezza d'un metro (§. 298); e quindi per la stima dell'*impalombellatura* il prezzo elementare può riferirsi all'unità di superficie. L'avvicinamento del legname, apparecchiato ne'luoghi terreni a ciò destinati, ai vari ponti d'onde dev'essere tirato in alto; e l'alzamento effettivo di esso fino alla sommità dell'edificio: sono operazioni che importano una spesa proporzionale al volume del legname stesso, e quindi il costo elementare di esse deve calcolarsi per l'unità di volume. Finalmente l'incavallature sono composte di vari membri, ciascuno de' quali esige dei lavori, che non hanno una necessaria relazione nè con le lunghezze, nè con le superficie, nè coi volumi di essi, e quindi determinato il costo elementare di ciascuno di tali membri componenti, solo per ciò che riguarda il costo del materiale, è d'uopo di calcolare dipoi l'importo di ciascun'armatura pel costo collettivo del materiale, e del lavoro nella totalità del sistema. Quest'esempio sarà sufficiente a mostrare come si possa sottomettere ad una analoga distinzione qualsivoglia altro sistema.

L'anzidetta distinzione importa che sia preventivamente istituita; ed in corrispondenza di essa il computo metrico, costituente la parte prima del dettaglio estimativo (§.976), deve presentare le singole partite di lavori nelle rispettive quantità sia di lunghezza, sia di superficie, sia di volume, sia di numero, affinchè si possa poi nella parte terza ricavare il costo assoluto di ciascuna di esse, a ragguaglio del suo importo elementare, determinato nella parte seconda.

§. 1025. La quantità del legname occorrente per la costruzione dell'unità metrica di ciascuna delle varie parti dell'opera, ovvero della totalità d'un sistema, che non possa essere ridotto ad unità metrica nè lineare, nè superficiale, nè di volume, si deduce facilmente dalle dimensioni assegnate nel piano dell'opera ai singoli membri dei vari sistemi, e dalle leggi stabilite nello stesso piano in ordine alla disposizione de' vari membri componenti ciaschedun sistema. Ma egli è pur d'uopo di provvedere a quel maggiore o minor calo, cui il legname deve necessariamente subire, per essere ridotto alle forme, e alle dimensioni convenienti ai vari membri, che se ne vogliono formare nella costruzione di qualsivoglia sistema; il che richiede che alla quantità di legname, dedotta, come si disse qui dianzi, dalle dimensioni effettive di ciascuno dei membri del sistema, prescritte nel piano dell'opera, si dia un aumento corrispondente a quella quantità di materia che si spreca nel lavoraggio del legname (§.978). Codesta quantità di materiale perduto, che comunemente,

quando si tratta di lavori di legname, si denomina *sfraso*, ha diversi rapporti con la quantità effettiva, che risulta dalle dimensioni dell'opera. L'esperienza ha dato campo di conoscere qual proporzione sussiste prossimamente fra la quantità dello sfraso, e la quantità del legname, che deve andare realmente in opera, secondo le condizioni, e le dimensioni diverse dei lavori; e quindi sono stabiliti nella pratica dei rapporti verosimili, a tenore dei quali deve tenersi conto dello sfraso nelle valutazioni elementari de' lavori di legname. Convien distinguere tre casi: il primo quando si tratta di grandi lavori, ne' quali il legname esige un particolare ed accurato apparecchio, come sono le palificazioni, e le piatteforme di fondazione (§. 385), le costruzioni de' cassoni pei muramenti subacquei (§. 388), la fabbricazione dei ponti di legname, delle porte delle chiuse, ecc.: il secondo quando il legname si provvede ai magazzini di commercio, o ai pubblici arsenali, già apparecchiato secondo le pratiche dell'ordinario assortimento (§. 192), e quindi non è d'uopo d'eseguire su di esso che piccole riduzioni, come accade nelle costruzioni dell'armature dei tetti, e dei solai ordinari; il terzo caso finalmente quando il legname d'assortimento dev'esser impiegato in oggetti, che richieggono molta minutezza di lavoro, come l'imposte degli usci e delle finestre, i cancelli, le persiane ecc. Quando il lavoro appartiene al primo caso, lo sfraso può valutarsi un decimo almeno, o un ottavo al più, del volume di legname, che dev'andare effettivamente in opera; cioè un decimo quando si tratta di fusti non isquadrati, e solo privati della corteccia, e dell'alburno, destinati a servire in qualità di pali, ovvero di legname squadrato, o segato, ove non importi che le facce, o i margini sieno tirati perfettamente a filo; ed un ottavo allorchè si tratta di legname squadrato, o segato, di cui le facce, ed i margini debbano essere ridotti a filo scrupolosamente (1). Pei lavori appartenenti al caso secondo il valore verosimile dello sfraso si ragguaglia generalmente ad un ventesimo della quantità netta del legname in opera (2). Finalmente pei lavori, che spettano al caso terzo, lo sfraso varia fra un quarto, ed un ventesimo del volume effettivo del legname in opera, proporzionatamente alla maggiore o minor minutezza, ed alla qualità dei lavori, che debbono su di esso eseguirsi (3). Codesti verosimili rapporti per la computazione dello sfraso nelle valutazioni elementari de' lavori di legname per comodo della pratica verranno riepilogate, come già si disse (§. 982), nella tabella seconda dopo il seguente capitolo.

(1) Gauthey - *Construction des ponts* - Lib. IV. cap. V sez. III.
(2) Rondelet - *Art de bâtir* - Lib. VIII sez. II artic. II.
(3) *Ibidem* - Artic. IV.

§. 1026. La varie specie di legname si provvedono alle macchie, ovvero ai magazzini di spaccio, a prezzi per lo più mercantili, dipendenti da cause di vario genere, che non ci appartiene d'indagare. I fusti destinati a servire in qualità di pali per lavori di fondazione, o d'altra specie, si pagano un tanto l'uno ai proprietari, o agli affittuari dei boschi, restando a carico dell'acquirente tutte le spese dell'atterramento, della recisione dei rami, della separazione della corteccia, e dell'alburno, e della condotta dei fusti dalla macchia al luogo ove debbono essere impiegati; e rimanendo talvolta per consuetudine dei contratti a profitto del proprietario, o dell'affittuario, la legna delle ramificazioni dell'albero: come appunto è solito nelle vaste pinete di Ravenna. Il prezzo di prima compra è in qualche modo porporzionale alla grandezza dei fusti, ma per avere poi il costo di ciaschedun palo nel luogo del lavoro, a cui è destinato, è d'uopo di aggiugnere al detto prezzo tutte le spese occorrenti per le varie operazioni ora nominate: dovendosi dedurre dal cumulo di tali spese il valore reperibile della legna de' rami, quando questa non abbia ad essere ceduta per patto al venditore delle piante. Il legname squadrato per l'occorrenze delle grandi costruzioni, ordinariamente trovasi in commercio, e si paga a misura di volume, vale a dire a prezzi corrispondenti ad un tanto il metro cubo; ed allora non occorre di aggiugnere al prezzo di compra che la spesa del trasporto del legname dal luogo, ove trovasi in vendita, a quello in cui dev'essere adoperato. Ma talvolta accade ancora che esistendo macchie vicine al luogo ove si deve fabbricare, e non essendo ivi introdotto il traffico del legname da costruzione, è forza di comperare nella macchia gli alberi adattati, di farli atterrare, di far isquadrare i fusti, e di farli quindi tradurre ove debbono essere impiegati. In simili casi sommando il costo degli alberi con tutte le spese delle motivate operazioni, e dividendo la somma pel volume del legname squadrato, che se ne potrà ottenere, il quoziente esprimerà l'importo elementare del legname squadrato, cioè il costo di ciaschedun metro cubo di esso nel luogo della costruzione a cui è destinato. Generalmente poi per le più frequenti occorrenze delle costruzioni civili impiegasi il legname d'assortimento (§. 291), di cui sono forniti i magazzini di commercio, ove i diversi articoli dell'assortimento hanno dimensioni determinate dalle consuetudini de' luoghi, e confacenti appunto a codeste occorrenze, e ne sono moderati i rispettivi prezzi individuali da conosciute tariffe. Si può quindi facilmente determinare, quando sia d'uopo, il prezzo elementare per l'unità lineare, o per l'unità superficiale di ciaschedun articolo, avvertendo però che anche in questo caso debbasi tenere il debito conto della spesa occorrente per trasportare il legname dai magazzini mercantili fino al luogo della fabbrica, in cui si dovranno adoperare.

§. 1027. Talvolta succede che trattandosi di qualche membro d'un sistema, di cui sieno prescritte le dimensioni, l'assortimento usuale non presenta verun articolo, che corrisponda pienamente a tali dimensioni, e quindi convien valersi all'uopo d'un articolo di dimensioni più forti, accorciandolo, ristringendolo, ed assottigliandolo quanto abbisogna, per ridurlo alle misure opportune. Se fosse per esempio da costruirsi un incavallatura semplice per un coperto della tirata di m. 6,50, come si suppose altra volta (§. 299), dovendo tanto la catena quanto i puntoni farsi con travi della riquadratura m. 0,279, e adoperarsi perciò nell'una, e nell'altra qualità dei legnotti di castagno, che hanno appunto la detta riquadratura, e ciaschuno dei quali è lungo m. 8,94: quantunque la catena non richiederebbe che una trave della lunghezza di m. 6,50, e la lunghezza di ciaschedun puntone sarebbe di m. 3,50, onde questi tre membri del sistema esigerebbero insieme l'impiego effettivo di m. 13,50 andanti di trave della prescritta riquadratura, vale dire molto meno della raddoppiata lunghezza di un legnotto; tuttavia sarebbe di necessità di provveder due legnotti interi, d'uno dei quali s'impiegherebbe un tratto lungo m. 6,83 per la formazione della catena, compreso il ventesimo dello sfraso (§. 1025), e ne resterebbe un pezzo della lunghezza di m. 2,11, e dell'altro se n'impiegherebbero m. 7,35 a formare i puntoni, compreso parimenti lo sfraso, e ne rimarrebbe un mozzicone lungo m. 1,59. Egli è chiaro che in cotesto caso la valutazione non sarebbe giusta, se dedotto il costo dell'unità lineare del legnotto dal prezzo individuale assegnato nella tariffa del legname d'assortimento, si mettesse in conto semplicemente l'importo dei m. 14,18 andanti di trave, che vanno effettivamente impiegati, compreso lo sfraso nella formazione della catena, e de' puntoni: come pure non sarebbe giusto se si conteggiasse il totale importo dei due legnotti, che pure è forza di pagare al fornitore del legname; che col primo metodo la valutazione del materiale sarebbe scarsa, e col secondo eccessiva. Ma in sì fatte occasioni, per ottenere la giusta valuta del legname, si deve portare nel conto il totale importo degli articoli d'assortimento, che occorre di provvedere, diminuito però dal valsente reperibile de'mozziconi, che n'avanzano, determinato sopra dati ragionevoli, avendo riguardo alla lunghezza di essi, ed agli usi cui possano essere adattati. Così nel caso contemplato si dovrebbe conteggiare l'importo dei due legnotti al saggio di tariffa, diminuito dal valore dei due mozziconi, che restano, ad un saggio ragionevole, cui l'esperienza insegna a determinare. Che se i moltiplici bisogni dell'edificio, che si vuol costruire, daranno modo d'impiegare tutti i mozziconi di cui si è detto, per la formazione d'altri membri dello stesso, o di qualch'altro sistema, in allora non si commetterà errore

valutando le lunghezze delle travi, effettivamente occorrenti per la formazione de' vari membri, ai rispettivi prezzi elementari, dedotti dai corrispondenti valori individuali dati dalle tariffe del legname d'assortimento. Gli studiosi potranno facilmente estendere queste considerazioni a quei casi, nei quali qualche articolo d'assortimento debba essere scemato in lunghezza, o in grossezza, per essere ridotto alle dimensioni d'uno, o d'un altro membro, cui sia destinato a formare in qualsivoglia sistema.

§. 1028. Altre considerazioni richiede la valutazione del legname, quando dev' essere impiegato in opere provvisionali, quali sono i ponti di servizio, le ture, le paratie, le centinature delle volte, le puntellature delle fabbriche in istato minaccevole (§. 402). Allorchè codeste varie specie di lavori hanno sussistito il tempo necessario per l'ufficio, cui sono destinati, si demoliscono, e se ne ricupera il materiale, non invero nella prisca sua integrità, ma tuttavia in istato di poter nuovamente servire per altri usi nelle costruzioni. Ne segue che distinguendo la quantità netta del legname, che sarà messa in opera, ed il di più che si deve aggiugnere per lo sfraso, nell' analisi del costo elementare di ciascuna parte del lavoro si deve computare il prezzo dell'una e dell' altra quantità di legname, e compiuta l'analisi, e dedottone il finale importo elementare che si cercava, si deve diffalcare da tale importo il prezzo reperibile del legname, che sarà levato d'opera, corrispondentemente allo stato a cui sarà ridotto. Che se lo stesso legname verrà destinato ad altre costruzioni provvisionali posteriormente occorrenti per l'esecuzione d'altre parti dell' opera principale, nell' analisi degl' importi elementari di codeste successive costruzioni non dovrà più entrare il costo del legname, che andrà effettivamente in opera, ma soltanto il valore della quantità corrispondente allo sfraso, la quale ordinariamente è minore dello sfraso, a cui va soggetto il legname, quando per la prima volta si lavora per essere messo in opera. In simili casi devesi però avvertire che la detrazione da farsi, come or ora si disse, dal prezzo elementare di quel primo lavoro, nella di cui analisi si tenne conto del valore del legname, deve corrispondere al prezzo, che verosimilmente potrà competere al legname stesso, dopo che sarà stato successivamente adoperato in tutti quei lavori provvisionali, a cui si è destinato che abbia a servire. Presso alcuni costruttori è invalso lo stile di valutare generalmente il legname, che si ricupera nel disfacimento dei lavori provvisionali, la sola metà del suo primitivo valore. Il Gauthey giustamente lo riprova, e ne dimostra la fallacia nel maggior numero dei casi dei lavori provvisionali; e quindi suggerisce (1) che quando pur si voglia

(1) *Construction des ponts* - Lib. IV cap. V sez. III.

adottare una valutazione più verosimile, debbasi stimare il legname usato tre quarti, o almeno due terzi del primitivo valore, essendo però sempre da preferirsi una stima fatta ragionatamente sullo stato a cui il legname si troverà ridotto.

§. 1029. La fattura nell'opere di legname consiste in una serie d'operazioni elementari, che possono distinguersi ne' seguenti capi. 1.° *Lineamento* delle varie parti, e de' vari membri del sistema, in iscala corrispondente al vero; il quale serve a dare una norma materiale agli artefici per la formazione, e per la disposizione di tutti i membri componenti. Codesto lineamento è quello cui i francesi costruttori danno la denominazione di *épure*. 2.° *Apparecchio* del legname, che consiste nel ridurre il legname stesso a quelle dimensioni, che competono ai singoli membri, che se ne debbono formare. 3.° *Imbastimento* del sistema, operazione che consiste nel disporre sul lineamento ad uno ad uno i vari pezzi di legname, che son destinati a formare i diversi membri, a fine di segnare le giuste tracce dei tagli occorrenti per la perfetta formazione dei membri medesimi, corrispondentemente alle dimensioni, ed alla disposizione a ciascuno di essi assegnate. 4.° *Formazione*, il qual capo comprende l'esecuzione de' tagli parziali, necessari per dare ai membri, e massimamente alle loro estremità, le forme opportune, nel formare le varie congiunzioni, nell'unire i membri in via di prova, nel segnarli, e quindi numerarli, ed ordinarli nell'officine, onde possano essere prontamente rinvenuti quando si tratterà di mandarli in opera. 5.° *Trasporto* de' membri già formati, dalle officine al luogo della costruzione. 6.° *Alzamento*, o *calata* del legname fino all' altezza o alla profondità del sito, che dovrà occupare in opera. 7.° *Costruzione effettiva*, o sia *mettitura in opera* dei vari membri destinati a comporre il sistema. Talune di codeste operazioni non sono sempre necessarie; ed in generale poi tutte si distinguono in varie operazioni secondarie, le quali sarebbero lunghe a dirsi minutamente, e se ne potrà acquistar cognizione, almeno per quanto è più essenziale, nella terza delle promesse tavole (§. 982), ove, come si avverti, saranno riferiti i tempi necessari per l'effettiva loro esecuzione. Codesta tavola è stata formata coi risultati dell'esperienza istituita sul legname di querce, che quindi rigorosamente non valgono che per questa specie di legname. Pei legnami d'altre specie, che hanno peso e durezza diversa, potrà bastare qualche apposita esperienza, giudiziosamente istituita, per poter dedurre la proporzione, con cui i tempi de' vari lavoraggi sulle diverse altre specie di legni, come il pino, l'abete, il castagno ecc. dipendano da quelli che occorrono per eseguire le stesse operazioni sul legname di querce.

La durata media del lavoro diurno pei lavori di legname nel nostro clima può considerarsi di nove ore.

§. 1030. I piani esecutivi de' lavori prescrivono le dimensioni degli articoli di ferro, che debbono far parte dell'opera. Ma nel computo metrico, o sia nella parte prima del dettaglio estimativo, conviene che sieno riportati, oltre le dimensioni, anche i pesi de' vari ferramenti; i quali pesi facilmente possono dedursi dalle stesse dimensioni, noti essendo i limiti della gravità specifica del metallo (§. 429), potendosi di questa assegnare, quando si voglia, il giusto valore con facili sperimenti per quella identifica qualità di ferro, di cui è prescritto l'uso. Ed all'unità di peso, piuttosto che all'unità di volume, convien che sieno riferiti i prezzi elementari per qualsivoglia lavoro di ferro, perchè nel commercio il metallo si contratta generalmente a peso, e perchè l'esperienza ha fatto conoscere che il tempo, e la spesa delle varie operazioni elementari, che costituiscono il lavorio de' ferramenti per le più comuni occorrenze dell'architettura, hanno delle proporzioni costanti al peso dell'articolo, sul quale l'operazioni stesse debbono essere eseguite. In ordine al maggiore, o minor grado di lavorio che richieggono, si è trovato opportuno di distinguere in pratica tre generi di ferramenti. Nel primo genere si comprendono tutti quegli articoli di grandi dimensioni, i quali non esigono altro lavoro, che quello di qualche saldatura, e di qualche riduzione nell'estremità, quali sono i così detti tiranti (§. 456), con cui s'incatenano talora le volte, e i muri delle fabbriche, e le grandi spranghe, per mezzo delle quali si collegano talvolta i vari membri di qualche sistema di legname. Al secondo genere appartengono i ferramenti di mezzane dimensioni, quando in essi occorre semplicemente la stessa qualità di lavoro, che abbiamo testè accennata. Tali sono le leghe, gli arpesi, e somiglianti articoli, sempre che abbiano di lunghezza non meno di m. 0,50, i parapetti di ferro per balconi o scale, le puntazze o cuspidi dei pali (§. 235), gli staffoni, le spranghe, le chiavarde, e le caviglie più grandi. Finalmente il genere terzo abbraccia tutti i ferramenti grandi, mezzani, e piccoli, che vogliono essere bolliti per intiero, o in molti punti, ed esigono molto lavoro di saldature, di bucature, di gomiti ecc. Tali sono le piccole chiavarde, e le cavigliette, staffe, cancelli, ferrate, ecc. Sono per altro esclusi da questi tre generi que' ferramenti, che, oltre del lavoro all'incudine, debbono pure esser trattati con la lima.

Nell'analisi del costo d'un chilogrammo di ferramenti, atteso il calo (§. 978) che succede nel metallo quando si lavora, si deve aggiungere 0,03 di chilogrammo quando si tratta di ferramenti del primo genere; 0,08 di chilogrammo pei ferramenti del secondo genere; e 0,10 di chilogrammo ove i ferramenti appartengano al genere terzo. Ma in punto

materiale nelle stime de' lavori di ferro si deve comprendere anche il carbone necessario, per riscaldare e far bollire il metallo alla fucina, la quantità del quale per ciaschedun chilogrammo netto di ferramenti può calcolarsi di m. c. 0,0001 quando si tratta di ferramenti dal primo genere, di m. c. 0,0006 pei ferramenti del genere secondo, e di m. c. 0,0010 per quelli che appartengono al genere terzo.

La spesa della fattura dei ferramenti si desume dal tempo che un mastro ferraio, ed il garzone che lo serve, impiegano a lavorare un chilogrammo di metallo, cioè a convertirlo in articoli di varia forma, e di vario uso, secondo l'occorrenze delle costruzioni. Ora questo tempo si può risguardare come costante in ciascuno de' distinti generi di ferramenti; e dietro i risultati dell'osservazioni si è adottato in pratica di calcolare 0,10 d'ora di ferraio, e garzone pel lavoro d'un chilogrammo di ferramenti del primo genere, 0,40 d'ora per un chilogrammo di ferramenti del secondo genere, 0,70 d'ora per un chilogrammo di ferramenti del genere terzo. Quando poi si tratta di ferramenti, che dopo di essere stati trattati alla fucina, e all'incudine, debbono esser tirati a compimento con la lima, si può contare che per ogni chilogrammo occorra da un'ora, a un'ora e mezzo di tempo di mastro e garzone, più o meno secondo le dimensioni, e la maggiore o minor difficoltà del lavoro. La formazione delle viti, e delle madreviti all'estremità delle chiavarde esige un tempo distinto, che si ragguaglia da 0,20 a 0,50 d'ora di ferraio, e garzone per ciascheduna vite, e per la corrispondente madrevite, secondo la maggiore, o minor grossezza della chiavarda. Per la mettitura in opera de' ferramenti del genere primo si reputa necessario il tempo di 0,04 d'ora, per quelli del secondo genere 0,20 d'ora, per quelli del terzo 0,40 d'ora di mastro, e garzone per ciaschedun chilogrammo de' ferramenti stessi. La quantità del piombo, o del mastice occorrente per saldare i ferramenti nelle pietre, e ne' muri, è variabilissima, e convien che sia determinata a discrezione secondo le diverse particolarità dei casi. Il prezzo del carbone, o della legna, che abbisognano per fondere tali materie, s'intende che sia compreso nella massa delle spese accessorie (§. 980). La durata ordinaria del travaglio giornaliero ne' lavori di ferro si considera costantemente di ore dodici in qualsivoglia stagione dell'anno (1).

§. 1031. I lavori di piombo per coperture, condotti, o altre occorrenze, si sono sempre stimati a prezzi di pratica, nè sappiamo che alcuno

(1) Gauthey - *Construction des ponts* - Lib. IV cap. V. sez. V.

siasi ancora dedicato, come sarebbe a desiderarsi, a dedurre da accurate, e ripetute esperienze dei dati elementari, per potere ridurre ad una metodica analisi la stima di tali lavori. Che sebbene questi sieno soggetti a grandissime variazioni, e debba perciò concedersi che non sarebbe sperabile di conseguire intorno ad essi dei risultati da potervi generalmente confidare, sarebbe tuttavia un vantaggio da non disprezzarsi quello di conoscere se non altro dei limiti, dentro i quali potersi contenere con sicurezza. Anche le valutazioni dei lavori di piombo si riferiscono all'unità di peso, vale a dire nel nuovo sistema ad un chilogrammo. La quantità del metallo si calcola un quarto per cento di più del peso netto, che dev' andare in opera, a riguardo di quella quota che se ne disperde nell'esecuzione del lavoro. Tanto vale anche in ordine al metallo occorrente per le saldature de' lavori di piombo, che suol esser composto di due terze parti di piombo, e d'una terza parte di stagno. Di questa lega si stima in pratica che ne occorra la quantità di chilog. 0,49 per m. 0,32 andanti di saldatura, il che equivale a chilog. 1,53 per ogni metro andante.

§. 1032. Per la stima delle verniciature a olio è necessario di determinare in prima il valore elementare della vernice per l'unità del peso, e di cercar poscia con separata analisi il costo elementare dell'effettiva dipintura per l'unità della superficie. I materiali delle vernici ordinarie sono l'olio di lino cotto, le terre ocracee rosse, o gialle, e la polvere di carbone, cui talvolta si unisce una certa quantità di spirito di trementina, e più di rado una discreta dose di litargirio in polvere (§. 251). Le terre, e la polvere di carbone vanno prima macinate con una giusta quantità d'olio cotto, e le paste che se ne ottengono debbono quindi essere stemperate in una nuova quantità d'olio, onde renderle liquide; e mescolate anche talvolta l'una con l'altra per ottenerne le varie tinte, di cui sogliono spalmarsi il legname, ed il ferro nelle costruzioni, onde preservare il primo dalla corruzione, il secondo dell'ossidazione (§. 451). L'esperienza ha fatto conoscere la quantità d'olio che abbisogna per macinare un chilogrammo di ciascheduna delle varie specie di materie coloranti; come pure la quantità d'olio che occorre per istemperare un chilogrammo di ciascheduna delle paste risultanti; ed ha poi anche dato campo di scuoprire quanto tempo s'impiega da un garzone nella macinazione, quanto ne impiega il verniciatore a tingere ad una mano di vernice un metro quadrato di superficie sul legname, o sul ferro, finalmente qual peso di vernice stemperata abbisogni per la spalmatura della detta unità di superficie. Se ne troveranno registrati i risultati nelle tavole generali, che chiuderanno queste istruzioni elementari sulla stima de' lavori. La quantità di vernice che

va a male è deciso dai pratici che debba stimarsi un ventesimo di quella che viene proficuamente impiegata.

§. 1033. Quando il legname debba essere spalmato di catrame, se quello è nuovo non occorre veruna preparazione nelle sue superficie; ma se è stato spalmato altra volta di vernice, o di catrame, è d'uopo che tutta la superficie che dev'essere incatramata di nuovo venga diligentemente raschiata in prevenzione. I risultati dell'esperienza intorno alla quantità di catrame che abbisogna per impiastrarne un metro quadrato di superficie di legname, esprimono la quantità stessa a volume, e non a peso. Dove poi il catrame, suol essere contrattato a peso, potrà sempre dedursene il prezzo dell'unità di volume da quello dell'unità di peso, conoscendosi che la quantità specifica di questa sostanza è quasi perfettamente uguale a quella dell'acqua; vale a dire che il peso d'un metro cubo di catrame corrisponde a 1000 chilogrammi.

§. 1034. Le spese accessorie nei grandi lavori di legname sono molte, e cospicue; poichè la custodia, e la buona economia del legname esigono magazzini, o commessi fedeli; e capaci che ne abbiano cura, ne destinino gli usi, e ne tengano regolari registri; e poichè il lavoro, e la mettitura in opera del legname richiede l'impiego di strumenti, e di macchine di molte specie, e di cordame, di cui in alcuni casi si fa incredibile consumo. Egli è perciò che la massa di tali spese nelle stime di questa classe di lavori suol farsi uguale ad un decimo dell'importo collettivo di tutta le spese di lavoraggio. Maggiori sono le spese accessorie pei lavori di legname nelle costruzioni civili come imposte d'usci, e di finestre, solai, assiti ecc.; e si giugne a valutarne la massa un decimo del totale importo di materiale, e fatture (1). Nelle stime dei lavori di ferro, quando si tratta di grandi ferramenti destinati alle pubbliche costruzioni di ponti, porti, sostegni, ecc., le spese accessorie si fanno ascendere ad un settimo dell'importo della fattura; ma quando i ferramenti sono destinati alle occorrenze delle costruzioni civili, si valutano ordinariamente un quinto del prezzo della stessa fattura. Nelle stime de' lavori di piombo la massa delle spese accessorie si valuta dai pratici ora più, ora meno, secondo le qualità diverse de'lavori, e talvolta fino a 0,15 della somma delle spese di metallo, e fattura (2); ma questa per altro ci sembra che debba aversi per una valutazione troppo esagerata, ed inamissibile. Finalmente in ordine alle verniciature ordinarie, dirette alla semplice preservazione del

(1) Rondelet - *Art de bâtir.* - Lib. VIII sez. II art. IV.
(2) *Ibidem* - Artic. XI.

legname e del ferro, le spese accessorie in massa si fanno uguali ad un settimo del costo della fattura; nella quale valutazione s'intende compreso ogni articolo di spesa per palchi, scale, pennelli, ecc, non che il costo del combustibile, che talvolta è necessario per riscaldar le materie.

I seguenti esempi serviranno a mostrare come i precedenti insegnamenti, ed i dati elementari contenuti nelle tavole generali, debbano essere applicati ai casi pratici, per le stime di quelle varie classi di lavori, che hanno dato argomento al presente capitolo.

§. 1035. Analisi del costo d'un palo di querce lungo m. 4, ed avente in testa il diametro di m. 0,30, battuto fino alla profondità di m. 3,50 sotto il fondo del mare, in un letto di materia ghiaiosa, con l'uso di una berta semplice (§. 939); assumendo quegli stessi prezzi elementari, che per una simile valutazione furono stabiliti nel dettaglio estimativo di tutte l'opere che dovevano eseguirsi, come si eseguirono in fatti l'anno 1822, al porto canale di Senigallia, pel prolungamento, e per la sistemazione del suo molo orientale (§. 412).

| | | |
|---|---|---|
| Prezzo di compra d'un palo di querce delle prescritte dimensioni . . . . . . . . . . . . . | | sc. 1,500 |
| Più un decimo per lo sfraso (§. 1025) . . . . | | » 0,150 |
| Tempo di 0,14 di giornata d'un falegname per uguagliare il palo, per la formazione della testa, e della punta, e per l'apposizione del cuspide, a bai. 30 il giorno . . | sc. 0,042 | |
| Tempo di 0,20 di giornata d'un altro falegname assistente alla manovra della berta . . . . . . . . . . | » 0,060 | |
| Tempo di 0,20 di giornata di dodici manovali addetti alla manovra della berta, a bai. 20 il giorno per ciascheduno . . . . | » 0,480 | |
| Importo collettivo di fattura, e manovra . . | | » 0,582 |
| Più un decimo per le spese accessorie (§. 1034) . | | » 0,058 |
| Spesa totale di legname, fattura, e manovra . . . | | sc. 2,290 |
| Più un decimo di provvisione (§. 981) . . . . | | » 0,229 |
| Totale importo del palo in opera . . . . . . | | sc. 2,519 |

§. 1036. Analisi del costo d'un metro quadrato di piattaforma di fondazione sott'acqua, formata con tavolone di querce della grossezza di m. 0,10 (§. 385), da ottenersi mediante la segatura longitudinale di fusti squadrati, alcuni de' quali grossi m. 0,32, altri m. 0,21.

| | | |
|---|---|---|
| Prezzo di compra di m. c. 0,100 di legname squadrato a scudi 10 il metro cubo . sc. | 1,000 | |
| Ciascun metro quadrato di tavolone esige mezzo metro quadrato di segatura, se debba essere ricavato da travi della grossezza di m. 0,21, e due terzi di metro quadrato di segatura, se vogliasi ricavare da fusti della grossezza di m. 0,32; onde ragguagliatamente per fare un metro quadrato di tavolone occorrono m. q. 0,583 di segatura, che ad ore 1,40 di segatore per ogni metro quadrato, e queste a bai. 4 l'una, importano . . . . . . . . . . » | 0,033 | |
| Più un decimo per le spese accessorie sulla segatura . . . . . . . . . . . » | 0,003 | |
| Importo d'un metro quadrato di tavolone . . | | sc. 1,036 |
| Più un ottavo per lo sfraso . . . . . . . . . . | | » 0,129 |
| Tempo di ore 0,046 di dieci manovali pel carico, per lo scarico, e pel trasporto d'un metro quadrato di tavolone alla distanza di m. 200, per mezzo d'un carriuolo (§. 824), a bai. 20 il giorno, cioè bai. 2,2 l'ora per ciascheduno . : . . . . » | 0,010 | |
| Tempo d'ore 1,20 di falegname per tirare a filo m. 8 di margine di tavolone, supponendo che la larghezza dei fusti sia di m. 0,25, a baiocchi 4 l'ora . . . . » | 0,026 | |
| E più ore 0,90 per l'unione de' tavoloni fuor d'acqua . . . . . . . . . . . . » | 0,020 | |
| Ed in oltre un'ora per calare a fondo, e per alluogare la piattaforma . . . . . . » | 0,022 | |
| Costo totale della fattura, o mettitura in opera | | » 0,078 |
| Un decimo per le spese accessorie . . . . . . | | » 0,008 |
| Totale importo di legname, e fattura . . . . | | sc. 1,251 |
| Decimo di provvisione . . . . . . . . . . | | » 0,125 |
| Importo totale d'un metro quadrato di piattaforma . | | sc. 1,376 |

§. 1037. Analisi del costo d'un metro cubo di legname, componente le centine d'un'arcata di ponte.

| | | |
|---|---|---|
| Prezzo di compra d'un metro cubo di legname squadrato | | . sc. 10,000 |
| Più un decimo per lo sfraso . . . . . . . . . . . | | » 1,000 |
| Tempo d'un falegname impiegato a cappare il legname nell'officina, disporlo sul lineamento, e segnarvi i tagli necessari . | ore 3,00 | |
| Pel taglio, e per l'unione de'membri in prova . | » 15,00 | |
| Per dismetterli, numerarli, ed ordinarli . | » 1,00 | |
| Per tirarli in alto, e metterli in opere . | » 5,00 | |
| Per dismettere le centine a tempo debito . | » 2,00 | |
| In tutto di falegname . . . . . . . . | ore 26,00 | |
| Le quali ore 26 di falegname a bai. 4 l'una costano . . . . : . . . . . . . . . | sc. 1,040 | |
| Tempo di ore 0,46 di dieci manovali pel carico, trasporto, e scarico, a m. 200 di distanza, che equivalgono per un solo manovale ad . . . . . . . . . . . | ore 4,60 | |
| Di più per la tiratura in alto, e mettitura in opera . . . . . . . . . . | » 10,00 | |
| E per la disfattura delle centine, e calata del legname . . . : . . . . . | » 4,00 | |
| Pel carico, scarico, e ritorno ai magazzini . | » 4,60 | |
| In tutto di manovale . . . . . . . . | ore 23,20 | |
| Le quali ore 23,20 di manovali a bai. 2,2 l'una importano . . . . . . . . . . . . | Sc. 0,510 | |
| Costano insieme l'opere de' falegnami, e de' manovali | | . sc. 1,550 |
| Un decimo per le spese accessorie . . . . . . . . | | » 0,155 |
| Totale importo di legname, fattura, e spese accessorie | | . sc. 12,705 |
| Più un decimo di provvisione . . . . . . . . . . | | » 1,270 |
| Importo totale d'ogni metro cubo di legname componente le centine . . . . : . . . . . . . . . : . | | sc. 13,975 |
| Si diffalcano due terzi del valor primitivo del legname (§. 1028) | | » 6,667 |
| Resta l'importo netto d'ogni metro cubo di legname componente le centine di . . . . . . . . . . . | | sc. 7,308 |

§. 1038. Analisi del costo dell'impiego d'un metro cubo dello stesso legname, che ha servito a bella prima alla costruzione delle centine d'un'arcata, come si è supposto nella precedente analisi, alla formazione delle centine d'un'altra arcata di minor apertura, ove non sia d'uopo di fare alcuna giunta di legname nuovo.

Il prezzo di compra del legname non si calcola, essendo già stato compreso nell'importo delle centine della prima arcata. Bensì vuolsi tener conto del nuovo sfraso, che supporremo uguale ad un quindicesimo del volume del legname in opera, onde per l'unità di volume si dovrà portar nel conto un decimo del costo di compra di un metro cubo di legname, cioè . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,667

Totale importo dell'opera di falegname, e de' manovali, come nell'analisi precedente . . . . . sc. 1,550
Un decimo per le spese accessorie . . . . . » 0,155

Totale importo di sfraso, opere, e spese accessorie sc. 2,372
Un decimo di provvisione. . . . . . . . » 0,237

Totale importo d'ogni metro cubo di legname impiegato per la seconda volta in costruzione di centine . . . . . . . . . . . . . . . sc. 2,609

§. 1039. Analisi del costo d'un chilogrammo di cuspidi o puntazze di ferro per pali, da impiegarsi in lavori di fondazione, o d'altra sorta; ed in generale del costo d'un chilogrammo di ferramenti del secondo genere (§. 1030)

Prezzo di compra d'un chilogrammo di ferro . . sc. 0,124
E più 0,08 pel calo che subisce il metallo nell'esser lavorato . . . . . . . . . . . » 0,010
Prezzo di m. c. 0,0006 di carbone a scudi 2 il metro cubo. . . . . . . . . . . . . . » 0,001
Tempo di 0,40 d'ora d'un fabbro ferraio a bai. 3,7 l'ora . . . . . . . . . . sc. 0,015
Altrettanto tempo d'un garzone ferraio a bai. 1,7 l'ora . . . . . . . . . . . » 0,007

L'opera del ferraio, e quella del garzone insieme importano . . . . . . . . . . sc. 0,022
Un settimo per le spese accessorie . . . . . » 0,003

Totale importo di metallo, fattura, e spese accessorie . . . . . . . . . . . . . sc. 0,016
Un decimo di provvisione . . . . . . . . » 0,016

Costo d'un chilogrammo di ferramenti del secodo genere . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,176

§. 1040. Analisi del costo della dipintura a olio d'un metro quadrato di superficie di legname, con vernice color d'oliva, ad una mano

Costo d'un chilogrammo di terra gialla . sc. 0,040
Chilog. 0,50 d'olio cotto per macinar la terra, a bai. 36 il chilogrammo : . . . . » 0,180
Tempo d'ore 6,50 di garzone macinatore a bai. 4 l'ora. . . . . . . . . . . . . » 0,260

Costo di chilog. 1,50 di vernice gialla in pasta . . . . . . . . . . . . sc. 0,480

Onde un chilagrammo di giallo in pasta costa . . sc. 0,320
Costo d'un chilogrammo di carbone in polvere. . . . . . . . . . . . sc. 0,040
Chilog. 0,80 d'olio cotto per macinare il carbone. . . . . . . . . . . . » 0,288
Tempo d'ore 8,50 di garzone macinatore . » 0,340

Costo di chilog. 1,80 di vernice nera in pasta; sc. 0,668

E quindi un chilogrammo di nero in pasta costa . sc. 0,371
Costo trovato d'un chilogrammo di vernice gialla in pasta . . . . . . . . . sc. 0,320
Chilog. 0,75 d'olio per stemperare la pasta . » 0,263

Costo di chilog. 1,75 di vernice gialla liquida sc. 0,583

Onde risulta il costo d'un chilogrammo di vernice gialla liquida di . . . . . . . . . sc. 0,343
Costo trovato d'un chilogrammo di vernice nera in pasta . . . . . . . . . . . sc. 0,371
Chilog. 1,17 d'olio per stemperare la pasta » 0,421

Costo di chilog. 2,17 di vernice nera liquida sc. 0,792

E quindi si ha il costo d'un chilogrammo di vernice nera liquida di. . . . . . . . . . . . sc. 0,365
Costo di chilog. 0,75 di vernice gialla liquida. . . . . . . . . . . . sc. 0,257
Costo di chilog. 0,25 di vernice nera liquida » 0,091
E quindi risulta il costo d'un chilogrammo di vernice olivastra liquida di . . . . . . sc. 0,348

| | |
|---|---|
| Per dipingere a una mano di vernice un metro quadrato di superficie di legname occorrono di vernice olivastra chilogrammi 0,11 . . . . . . . . | sc. 0,038 |
| Più un ventesimo per lo spreco . . . . . . . . | » 0,002 |
| Tempo d'ore 0,20 di dipintore e bai. 7 l'ora . | » 0,014 |
| Un settimo per le spese accessorie . . . . . . | » 0,002 |
| Importo totale di vernice, fattura, e spese accessorie . . . . . . . . . . . . . . | sc. 0,056 |
| Un decimo di provvisione . . . . . . . . . | » 0,006 |
| Importo d'una mano di vernice olivastra sulla superficie d'un metro quadrato . . . . . . . . | sc. 0,062 |

## CAPO VI.

### *Costruzioni murali.*

§. 1041. Le pietre naturali, le pietre laterizie, gl'ingredienti delle malte, sono i generali componenti delle costruzioni murali (§. 492). Le quantità rispettive di codesti materiali, occorrenti per la composizione dell'unità metrica delle varie specie d'opere murali, dipendono e dalle differenti qualità di essi materiali, e dalle diverse maniere di struttura; e si deducono in parte dalle forme, e dalle dimensioni delle pietre naturali e laterizie, in parte dai canoni generali, e particolari dell'arte, concernenti questa classe di costruzioni, in parte finalmente dai lumi forniti dall'esperienza intorno allo spazio ch'effettivamente è occupato dai diversi materiali in opera, e al quantitativo che se ne disperde nel loro apparecchio, e nell'esecuzione delle varie manovre edificatorie (§. 978). Le due prime tavole generali, che, come già si promise, seguiteranno a questo capitolo, conterranno un saggio d'elementi relativi a così fatte determinazioni. L'uso pratico di tali elementi si renderà palese nelle particolari applicazioni, sulle quali ci tratterremo qui appresso. Importa poi di avvertire, che massimamente quando si tratta della valutazione d'opere murali, codesti elementi possono andar soggetti a notabili variazioni, in riguardo alle nature diverse de'materiali, e che quindi i dati elementari riferiti nelle tavole per alcune particolari materie, vogliono esser cangiati, corrispondentemente a ciò che l'esperienza può aver già dimostrato per l'altre materie congeneri, di cui fa uso nelle diversità de'luoghi; ovvero a seconda dei risultati di sperimenti appositamente istituiti, ove avvenga di dover impiegar qualche materia, la quale non sia stata precedentemente adoperata, o che non sia stata l'oggetto di regolari osservazioni.

§. 1042. I tempi d'artefici, e di manovali, notati nella tavola terza, per l'esecuzione dell'unità metrica de' vari lavori elementari nella classe dell'opere murali, in generale non esigono spiegazione, e le seguenti applicazioni mostreranno chiaramente il modo di farne uso. Daremo soltanto alcuni essenziali avvertimenti in ordine a quegli articoli che riguardano il taglio delle pietre. Le innumerabili specie e varietà di queste offrono dei gradi olremodo differenti di durezza, e d'omogeneità; e da ciò deriva che il taglio d'alcune pietre si eseguisce con facilità, e con poco dispendio di tempo, mentre alcune altre pietre non si lavorano che con molta difficoltà, e con grand'impiego di tempo. La tavola offre i risultati delle osservazioni fatte dai costruttori francesi sul tempo necessario pel lavoraggio effettivo di tre specie di pietre, cioè il granito indigeno della Francia, la pietra calcarea dura denominata *roche*, che si cava ne' dintorni di Parigi, e che può forse equipararsi al nostro travertino, e l'altra calcarea tenera, che cavasi pure negli stessi dintorni, ed ha la denominazione di *vergelé*. Il granito della Francia ha la sua gravità specifica compresa fra 2640, e 2854; nella calcarea dura il peso specifico è di 2094; e nella calcarea tenera e di 1831 (1). Codeste tre specie si possono assumere nella numerosissima serie delle pietre da costruzione siccome i termini ordinari della massima, della media, e della minima durezza, e conseguentemente della minima, della media, e della massima trattabilità. Quindi in difetto di particolari osservazioni sulle varie pietre da costruzione che si trovano, e si adoperano in altri paesi, e dove non abbiasi l'opportunità di sottometterle ad apposite sperienze, all'uopo di scuoprire la quantità del tempo necessario al lavoraggio di esse, potranno valere i tempi cogniti del lavoro delle prefate tre specie, in qualità di limiti, o di termini di confronto, per attribuire dei valori intermedi verosimili ai tempi occorrenti pel lavorío di qualsivoglia altra pietra. secondo che pei caratteri apparenti di questa, e pei risultati di qualche tentativo, sarà dato di giudicare che per la sua durezza, si accosti piuttosto all'uno, o all'altro degli anzidetti termini di confronto. Nella stessa tavola si troveranno particolarmente registrati i tempi elementari del lavoraggio d'alcuni marmi, che sogliono essere semplicemente adoperati ne' più sontuosi edifici, o per minuti articoli di decorazione.

§. 1043. Siccome poi l'esperienza ha fatto conoscere che la difficoltà del taglio cresce e diminuisce secondo la diversa durezza ed omogeneità delle pietre, sempre però, se non altro prossimamente, in una medesima proporzione da una ad un'altra specie di pietre, quando sia la

(1) Vedi la tabella delle pietre da costruzione a pag, 20.

stessa la qualità, e la quantità di lavoro, che debba eseguirsi sull'una; e sull'altra; così una volta che si conoscano i rapporti, che regnano fra i tempi elementari occorrenti per effettuare le varie maniere di taglio in una qualunque specie di pietra, basterà che sia noto il tempo elementare per l'esecuzione d'una delle diverse maniere di taglio sopra una pietra d'altra specie, per poterne dedurre i tempi elementari per ogni altra sorta di lavoraggio di questa seconda specie di pietra. Ora in pratica si è adottato di esprimere i tempi elementari delle diverse sorte di tagli per mezzo dei rispettivi rapporti che hanno al tempo elementare della fattura della pelle piana (§. 508), cioè al tempo che uno scarpellino impiega nella riduzione a pelle piana rustica d'un metro quadrato di superficie di pietra; rapporti che si sono potuti conoscere con la scorta dell'esperienza. E per tal modo si è potuto generalmente stabilire che chiamando $x$ il numero dell'ore, che un mastro scarpellino deve impiegare per la fattura d'un metro quadrato di pelle piana rustica sopra qualsivoglia specie di pietra, i tempi elementari di tutte le diverse sorte di tagli che possono occorrere sulle pietre hanno i loro rispettivi valori espressi come segue.

1.° Tempo di mastro scarpellino per la fattura d'un metro quadrato di pelle piana rustica . . . . . . . . . . $=$ $x$ ore

2.° Per la fattura d'un metro quadrato di pelle piana *liscia*, o *polita* vale a dire orsata, rotata, e stuccata $=$ $1{,}75\,x$

3.° Per la fattura d'un metro quadrato di pelle centinata rustica, supponendo che sia $r$ il raggio osculatore della curvità della superficie . . . . . . . $=\left(1+\frac{0{,}75}{r}\right)x$

4.° Per un metro quadrato di pelle liscia centinata. $=\left(1+\frac{0{,}75}{r}\right)1{,}75x$

5.° Per la riduzione d'un metro quadrato di facce laterali, per gli scambievoli congiungimenti a contatto delle pietre, o sia secondo l'espressione comune degli scarpellini romani, per un metro quadrato di *quadrature*. $=$ $0{,}8\,x$

6.° Per un metro quadrato di *posamento*, o di *rifilatura*, che così dicesi la riduzione di quelle facce dei conci che non debbono andare a contatto d'altri conci. $=$ $0{,}3\,x$

7°. Tempo che un segatore impiega ad eseguire un metro quadrato di segatura. . . . . . . $=$ $6{,}1\,x$

8°. Il tempo necessario per ritoccare [le facce delle pietre, dopo che sono state messe in opera, si può calcolare ordinariamente un ventesimo del tempo occorrente per la prima formazione delle facce stesse.

Quando si considera la fattura delle facce de' conci si suppone che i massi abbiano la forma, e le dimensioni convenienti all'uso cui sono destinati, e quindi che non debba levarsi intorno ad essi che quella sola quantità di scaglie rustiche, che importa appunto per la perfetta riduzione delle loro facce. Ma qualora sia d'uopo di levare in iscaglie delle falde più, o meno grosse ne' fianchi de' massi, ovvero di formarvi degl'incavi, questo taglio dev'essere considerato a parte, ed esige una quantità di tempo proporzionale al volume della materia, o sia come dicesi comunemente del *rustico*, che dev'essere mandato in iscaglie, la quale si esprime essa pure pel rapporto che ha col tempo $x$ della fattura d'un metro quadrato di pelle piana rustica, ed ha i seguenti valori secondo che la materia dev'essere staccata tutta sopra un medesimo piano, ovvero deve essere scavata dentro uno spazio di maggiore, o di minore ampiezza.

9.° Tempo di uno scarpellino per levare in iscaglie un metro cubo di pietra, o come dicesi communemente di rustico, senza formazione d'incavo . . . . . = 10 $x$

10.° Per levare un metro cubo di scaglie nella formazione d'incavi di luce non minore di m. q. 0,0100 = 20 $x$

11.° Per un metro cubo di scaglie da levarsi, onde formare degl'incavi, ciascuno dei quali abbia una luce compresa fra m. q. 0,0100, e m. q. 0,0025. . . = 50 $x$

12°. A mandare in iscaglie un metro cubo di rustico, per formar degl'incavi di luce minore di m. q. 0,0025. = 100 $x$

13°. La fattura di levare un metro cubo di scaglie dai conci già esistenti in opera esige un decimo di più del tempo che occorrerebbe per eseguirla prima che le pietre andassero in opera.

14.° La formazione delle cornici, o sia la fattura delle pelle scorniciata, richiede maggiore o minor tempo secondo la maggior, o minor quantità di rustico che deve levarsi in iscaglie, secondo la maggiore, o minor minutezza, e curvatura delle modanature ed in proporzione dell'area sviluppata della superficie, che deve essere lavorata. Su quest' articolo non può dunque stabilirsi come pei precedenti un dato medio generalmente adottabile; ed il tempo elementare verosimilmente necessario per l'esecuzione di questa sorta di lavoro vuol' essere dedotto con gli accennati riguardi dalle forme, e dalle dimensioni dell'intaglio.

§. 1044. I valori elementari delle pietre naturali e laterizie, e dei

componenti delle malte, talvolta convien che sieno desunti dai prezzi mercantili; e ciò succede segnatamente ne'luoghi, ove le continue occasioni di lavori mantengono vivo il commercio de' materiali da fabbrica. Così in Roma tanto le varie pietre da costruzione, quanto i materiali laterizi, e la calcina, e la pozzolana, si vendono, a' magazzini di traffico, alle fornaci, e alle cave, a prezzi di piazza; i quali variano da un' epoca all'altra, dipendentemente dalle variazioni che succedono nei prezzi delle braccia necessarie alla cavatura, e all'apparecchio delle varie materie, come pure nei noleggi dei veicoli occorrenti pel trasporto delle materie stesse dalle fornaci, o dalle cave ai luoghi di spaccio; e dipendentemente altresì dalla maggiore o minore affluenza delle ricerche. Ordinariamente i prezzi mercantili de' materiali sono appropriati a delle unità convenzionali di misura, o di peso; ad eccezione dei materiali, laterizi che sogliono generalmente vendersi a prezzi individuali, vale a dire a tanto il cento, ovvero a tanto il migliaio. Le speciali dimensioni de' laterizi sono determinate, come si disse altra volta (§. 519), dalle consuetudini, o dagli statuti locali. In Roma la misura mercantile per le pietre, e pei materiali minuti, è la carrettata, che è una quantità convenzionale o di volume, o di numero, e per le diverse specie di materiali ha valori diversi, dei quali fu già dato ragguaglio nel precedente libro (§. 826).

§. 1045. Ai prezzi elementari, cui i materiali costano alle cave, alle fornaci, o ai magazzini di spaccio, va aggiunta la spesa necessaria per trasportarli al luogo dove debbono essere impiegati; onde ottenerne i veri importi elementari, a cui dovranno essere valutati nella stima dell'opera. La spesa del trasporto d'un metro cubo di qualsivoglia materia consiste nella spesa del carico, e dello scarico, la quale risulta dal moltiplicare la mercede oraria dell'operaio e il tempo che questi impiega a caricare sui veicoli un metro cubo di quella specie di materia, e quindi a scaricare la stessa quantità di materia quando è arrivata al suo destino; e nella spesa del trasporto effettivo la quale si ottiene moltiplicando il prezzo giornaliero del veicolo pel tempo ch'esso impiega nel trasportare un metro cubo di materia dal luogo del carico a quello dello scarico, compresevi le fermate necessarie acciò la materia sia caricata, e scaricata. La tavola III$^a$. ci dà il tempo che abbisogna perchè un manovale carichi sulle carrette, o sulle barrozze, e quindi scarichi da esse un metro cubo di ciascuna delle varie specie di materiali che appartengono alle costruzioni murali. Che se si chiami in generale $u$ codesto tempo, e dicasi $n$ il numero de'manovali, che contemporaneamente s'inpiegano ad eseguire il carico, e lo scarico d'un medesimo veicolo: il trattenimento del veicolo per aspettare il carico, e lo scarico d'un metro cubo di materia sarà $= \frac{u}{n}$.

E supponendo quindi che sia, come già pei trasporti delle terre (§. 955), $c$ la capacità del veicolo relativamente alla qualità della materia che deve essere trasportata, $d$ la distanza che da esso vien percorsa in un'ora, $x$ la distanza variabile dei trasporti; il tempo $t$ che il veicolo impiega per ciaschedun metro cubo di quella tal materia, trasportato alla distanza $x$, sarà dato dalla formola $t = \frac{u}{n} + \frac{2x}{cd}$, prendendosi per unità di tempo l'ora. Ciò posto come, dato il prezzo elementare del materiale allo spaccio di esso, e data la distanza del trasporto, si possa facilmente dedurre il costo elementare del materiale stesso, nel luogo ove è destinato d'impiegarlo, apparirà dal seguente esempio.

§. 1046. Analisi del costo elementare di un migliaio, o sia di m. c. 1,445 (1) di mattoni romani ordinari delle fornaci esistenti fuori della porta Cavalleggeri, da impiegarsi dentro Roma in una fabbrica distante dalle dette fornaci m. 1350.

| | |
|---|---|
| Costo di compra di 1000 mattoni alle fornaci. . . . | sc. 5,400 |
| Tempo di ore 2,17 d'un manovale pel carico, e per lo scarico sopra carrette, in ragione d'ore 1,50 per metro cubo, come alla tavola III.ª, a bai. 2,33 l'ora . . . . . | » 0,072 |
| Un ventesimo per le spese accessorie . . . . . . . | » 0,004 |
| Tempo d'ore 2,98 di una carretta, in ragione d'ore 2,06 per ogni metro cubo di mattoni, come risulta dalla formola $t = \frac{u}{n} + \frac{2x}{cd}$, facendo in essa $u = 1,50$, $n = 3$, $d = 3600$ (§. 995), e $c = 0,481$, che è il volume d'una carrettata di mattoni ordinari (§. 828); a bai. 11,1 l'ora, o sia ad uno scudo il giorno, supponendo la giornata d'ore nove. | » 0,331 |
| Costo di un migliaio di mattoni nel luogo della fabbrica | sc. 5,807 |

§. 1047. I prezzi elementari delle pietre naturali, dell'arena, della pozzolana, debbono il più delle volte essere determinati per mezzo di circostanziate analisi, che raccolgano tutte le spese necessarie per la cavatura, per la conciatura, e pel trasporto delle materie al luogo dove ne occorre l'impiego, tenuto anche conto, se fia d'uopo, dell'indenizzazione, o del diritto di cava dovuto al proprietario del fondo, d'onde si trae il materiale. L'analisi, che qui soggiugueremo, appartiene ad uno di codesti casi.

(1) V. il prospetto de' materiali laterizi di Roma a pag. 33.

Analisi del costo d'un metro cubo di tufo vulcanico in pietrame, da estraersi alla cava detta di Saccopastore, in vicinanza del ponte Nomentano, e da trasportarsi in un punto della via Nomentana distante m. 3238 dalla cava, per essere ivi adoperato nella costruzione d'un muro di rivestimento a sostegno della strada

Indennizzazione o diritto di cava, . . . . . . . . . sc. 0,075
Tempo d'ore 3 di un cavatore per la cavatura effettiva, e per lo spezzamento de' massi, a bai. 4,4 l'ora . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,130
Tempo d'ore 1,28 d'un garzone pel carico e per lo scarico, a bai. 3,3 l'ora . . . . . . . sc. 0,042

Importo della cavatura, spezzamento, carico, e scarico . sc. 0,172
Un quindicesimo per le spese accessorie in considerazione del molto consumo dei ferri, e della polvere occorrente per le mine . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,011
Tempo di ore 5,52 d'una carretta, che risulta dalla formola solita (§. 1045), facendo in essa $u = 1,28$, $n = 3$, $d = 3600$ (§. 995), $c = 0,353$ (§. 827), ed $x = 3238$, a bai. 11,1 l'ora . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,614
Quindi sarà il costo d'un metro cubo di pietrame al luogo della costruzione di . . . . . . . . . . . . sc. 0,872

§. 1048 Talune volte la provvista de' materiali fossili vien data in appalto, ed allora l'impresario assume di fornire la quantità occorrente di ciascun materiale nel luogo del lavoro ad un tanto il metro cubo. Ove si voglia adottare questo sistema si rende necessario che il materiale di mano in mano che arriva nel luogo destinato venga disposto in mucchi di forma regolare, onde possa esserne misurato il volume, e darsene giusto credito al fornitore. E quindi nella determinazione del costo elementare del materiale vuolsi in tal caso tener conto dell'effettuazione dell'ammucchiamento. A sì fatta ipotesi appartengono i due seguenti esempi.

I. Analisi del costo d'un metro cubo di tufo in pietrame, proveniente dalla predetta cava di Saccopastore portato ed ammucchiato nel luogo del muro di sostegno, secondo ciò che si suppose nella precedente analisi.

Diritto di cava. . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,075

Somma portata sc. 0,075
Cavatura, spezzamento, carico, e scarico come sopra sc. 0,172
Tempo di ore 0,70 di un manovale per l'ammucchiamento . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,023
Spesa totale di cavatura ecc., ed ammucchiamento . . . » 0,195
Un quindicesimo per le spese accessorie . . . . . . » 0,013
Trasporto come sopra . . . . . . . . . . . . . . » 0,614
Costo d' un metro cubo di pietrame . . . . . . . . sc. 0,897

II. Analisi del costo d' un metro cubo di pozzolana delle cave di Casalbrugiato, a destra della via Tiburtina, trasportata ed ammucchiata presso la via Nomentana al luogo del prefato muro di sostegno, distante dalle dette cave di Casalbrugiato m. 6330

Costo di compra d' un metro cubo di pozzolana alla cava sc. 0,212
Tempo d' ore 0,70 d' un manovale pel carico sulle carrette . . . . . . . . . . . . . sc. 0,023
Tempo d' ore 0,60 d' un manovale per l' ammucchiamento . . . . . . . . . . . . . . » 0,020
Spesa del carico e dell' ammucchiamento . . . . . . sc. 0,043
Un ventesimo per le spese accessorie . . . . . . . » 0,002
Tempo d' ore 10,21 d' una carretta, dedotto dalla formola generale dei trasporti delle terre con l' opportune sostituzioni (§. 995); a bai. 11,1 l' ora . . . . . . . sc. 1,133
Importo d' un metro cubo di pozzolana . . . . . . . sc. 1,390

§. 1049. Per la fabbricazione dei muri, delle selciate, degl' intonachi, occorrono le malte; le quali risultano, siccome è noto, dal miscuglio, e dall' impasto della calcina con l' arena, o con la pozzolana, ovvero con altre sostanze destinate a far le veci dell' arena. La malta è dunque un materiale composto (§. 978), il di cui prezzo elementare è d' uopo che venga determinato con apposita analisi; onde poterne introdurre poi il valore nella determinazione analitica del costo elementare della costruzione murale, che è proposto di valutare. Siccome poi alle fornaci, o ai magazzini di spaccio, si acquista la calcina viva, e questa poi vuol' essere estinta prima di essere impiegata nella composizione delle malte, così prima di tutto importa di dedurre dal prezzo della calcina viva, e dalle spese necessarie per trasportarla dove occorre, e per effettuarne l' estinzione, l' importo elementare della calcina estinta. Codesta deduzione esige che si conosca qual volume di calcina smorzata risulti dall' estinzione regolare d' un metro cubo di calcina viva. Le varie qualità delle pietre calcaree danno risultamenti molti differenti l'uno dall' altro per codesto articolo; e quindi fa d' uopo di prender lume su questo particolare da diligenti e ripetuti esperimenti,

istituiti espressamente sopra le calcine, di cui è destinato che debba farsi uso.

Abbiamo già avvertito (§. 533) che un metro cubo di calcina viva di Monticelli, che è quella che più generalmente si adopera in Roma, in una regolare estinzione produce m. c. 2,357 di calcina in pasta. Si è poi conosciuto per esperienza che a formare un metro cubo di calcina viva ne occorrono libbre romane 3000, cioè pesi mercantili 7,5 (§. 828), pari a chilog. 1018. Assunti questi dati particolari, onde apparisca il metodo pratico di determinare il costo elementare della calcina smorzata, potrà giovare il seguente esempio.

Analisi dell' importo d' un metro cubo di calcina di Monticelli in pasta.

| | |
|---|---|
| Costo di compra di un metro cubo di calcina viva di Monticelli, equivalente a pesi mercantili 7,5, al prezzo di uno scudo il peso, in qualsivoglia punto di Roma e delle sue adiacenze. . sc. | 7,500 |
| Tempo di cinque ore di garzone muratore impiegato a rimescolare la pasta, onde l'estinzione succeda perfettamente, e completamente, supponendo che non sia d' uopo di trasportar l' acqua necessaria per l' estinzione, potendosi approfittare di qualche fontana vicina, per mezzo di un condotto provvisionale; come ordinariamente accade in Roma; a baiocchi 4 l' ora . . . . . . . . . . . . . . . . „ | 0,200 |
| Un decimo per le spese accessorie, compresa quella dello scavo o dell' affitto della fossa . . . . . . . . sc. | 0,020 |
| Costo di m. c. 2,357 di calcina smorzata che risultano, come si è detto, dall' estinzione regolare d' un metro cubo di calcina viva. . . . . . . . . . . . . . sc. | 7,720 |
| E quindi si deduce che l' importo d' un metro cubo di calcina in pasta di. . . . . . . . . . . . . . . sc. | 3,275 |

§. 1050 Nella terza tavola generale sono assegnate tre ore di manovale per la cavatura, trasporto, e versamento dell' acqua occorrente all' estinzione d' un metro cubo di calcina viva, nell' ipotesi che il ricettacolo, a cui l' acqua dev' essere attinta, sia prossimo al calcinaio. Tuttavia il tempo impiegato dal garzone acquaruolo, quand' anche l' acqua sia a pochissima distanza dal calcinaio, può essere vario d' assai, secondo le qualità diverse della calcina; mentre sappiamo che alcune calcine si smorzano perfettamente con una quantità d' acqua di peso non maggiore di quello della pietra calcinata, altre ne assorbiscono nell' estinzione una quantità copiosa, che giunge talvolta fino a 3,60 del detto peso, ed altre finalmente ne vogliono una quantità media, maggiore, o minore,

dentro i prefati limiti (§. 533). Convien dunque che l'esperienza corregga, quando sia d'uopo, questo dato essenziale per la determinazione del prezzo elementare della calcina spenta; ed è pure da presumersi che talvolta potesse anche occorrere di modificare l'altro articolo del tempo necessario pel rimescolamento della pasta, cui nella tavola è assegnato il valore costante di ore cinque, atteso che quelle calcine che richiedono molt'acqua esigono altresì una più lunga manipolazione per isciogliersi perfettamente, e quelle che assorbiscono poca quantità d'acqua giungono pure a macerarsi con un breve rimescolamento. Qualora poi l'acqua esistesse a qualche distanza del calcinaio, converrebbe valutarne giustamente il trasporto: e ciò potrebbe ottenersi mediante la formola generale, esprimente il tempo impiegato da un veicolo a trasportare ad una data distanza un metro cubo di qualsivoglia materia (§. 1045); la quale formola sarebbe anche applicabile al caso che in grazia della scabrosità de' sentieri l'acqua non potesse essere portata che per ischiena di giumenti, o di manovali. Ma a fine di rendere in simili casi più semplice la valutazione del trasporto gioverà di supporre che la calcina abbia ad essere smorzata in prossimità dell'acqua, e che quindi la pasta debba esser recata al luogo del lavoro per mezzo di veicoli tirati da cavalli o da bovi, ovvero per mezzo di carrinole, se la distanza non fosse molta (§. 1018), ovvero se non vi fosse strada praticabile dai grossi veicoli. Così per esempio se nel caso, che ha dato argomento alla precedente analisi, non potesse aversi l'acqua per l'estinzione della calcina che a distanza di m. 300 dal luogo della fabbrica, la determinazione definitiva del costo d'un metro cubo di calcina spenta, essendo eseguibile il trasporto della pasta per mezzo di carrette usuali, potrebb'essere effettuata come segue.

| | | |
|---|---|---|
| Costo d'un metro cubo di calcina spenta al calcinaio, come risulta dalla precedente analisi . . . . . . . . . . | sc. | 3,275 |
| Tempo d'ore 0,80 d'un manovale pel carico sulle carrette. | „ | 0,032 |
| Un ventesimo per le spese accessorie. . . . . . . | „ | 0,002 |
| Tempo d'ore 0,72 d'una carretta, dedotto dalla solita formola (§. 1045), fattovi $\frac{u}{n}=0,25$, come per trasporti delle terre (§. 995); a bai. 11,1 l'ora . . . . . . . . . | „ | 0,080 |
| Costo d'un metro cubo di calcina spenta portata al luogo della fabbrica. . . . . . . . . . . . . . . . | sc. | 3,389 |

§. 1051. Stabiliti gl'importi elementari della calcina smorzata, e dell'arena o di qualch'altra sostanza, che debba farne le veci, per passare alla valutazione della malta è d'uopo che sia noto in qual proporzione

debbono essere mescolati insieme i due ingredienti, cioè la calcina in pasta, e l'arena, corrispondentemente alle qualità particolari di codeste sostanze, ed agli usi diversi cui le malte possono essere destinate (§. 530). Abbiamo riferito nel terzo libro quali sono le proporzioni comunemente adottate in Roma fra la calcina spenta, e la pozzolana, per la composizione delle diverse malte, destinate alle varie specie di costruzioni murali (§. 551). Ma per analizzare il costo elementare della malta un'altra cognizione è indispensabile; cioè qual rapporto esista fra il volume di malta, che risulta dalla fisica mescolanza delle due materie componenti nel prescritto scambievole rapporto, e la somma aritmetica dei volumi parziali delle due sostanze; poichè è di fatto che generalmente quando queste si mescolano e s'immedesimano, avviene in esse una certa compenetrazione, per cui il volume del miscuglio risulta minore dell'aggregato aritmetico dei volumi delle due materie componenti. Ma in codesto fenomeno non si osserva una legge costante, ed il suo effetto si manifesta in grado or maggiore, or minore secondo le varie qualità delle sostanze, e la proporzione con cui si uniscono; laonde l'anzidetto rapporto, che ne costituisce la misura, importa che sia conosciuto per esperienza nelle diverse specie di malte, risultanti dall'unione di date sostanze componenti in date proporzioni. Per le malte composte di calcina di Monticelli, e di pozzolana delle cave intorno a Roma, si è potuto raccoglier dai risultati d'alcune sperienze che il rapporto dell'aggregato aritmetico de'volumi delle materie componenti al volume fisicamente risultante dall'imposto di esse sia :: 123 : 100. Con questo dato, valendosi dai prezzi elementari della calcina spenta, e dalla pozzolana, che sono stati precedentemente determinati, nell'ipotesi del muro di sostegno da costruirsi a fianco dalla via Nomentana, esibiamo il seguente modello per la ricerca analitica del prezzo elementare della malta.

§. 1052 Analisi dell'importo d'un metro cubo di malta, composta di calcina di Monticelli, e di pozzolana, nel rapporto di 15 a 85, trattandosi di malta destinata alla costruzione d'un muro di pietrame (§. 551).

| | | |
|---|---|---|
| Prezzo di m. c. 0,155 di calcina in pasta, a scudi 3,389 il metro cubo come alla precedente analisi (§. 1050) . . . . . | sc. | 0,627 |
| Prezzo di m. c. 1,045 di pozzolana, a scudi 1,390 il metro cubo (§. 1048) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | „ | 1,452 |
| Tempo di ore dodici di garzone muratore per l'impasto della malta . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | „ | 0.480 |
| Un decimo per le spese accessorie . . . . . . . . . . | „ | 0,048 |
| Costo di un metro cubo di malta per muri di pietrame . | sc. | 2,607 |

§. 1053 Determinati i prezzi elementari della malta, e del pietrame

e conosciute le mercedi giornaliere del mastro muratore, e del manovale, al saggio competente al luogo, e alla stagione in cui l'opera dovrà eseguirsi, si procede alla ricerca analitica del costo elementare del divisato muro di pietrame (§. 1047). La tavola I.ª ne avverte che per la costruzione d'un metro cubo di muro di codesta specie occorre l'impiego effettivo d'un metro cubo di pietrame, e di m. c. 0,400 di malta. Nella tavola II.ª troviamo che sul pietrame la perdita, o lo spreco è uguale ad un decimo della quantità che ne va effettivamente in opera; e che sulla malta lo spreco non è che un ventesimo della quantità che realmente s'impiega. Dalla tavola III.ª sappiamo che per la fattura d'un metro cubo di muro di pietrame occorrono ore quattro e mezzo d'un muratore, e d'un manovale. Finalmente la tavola IV.ª ci fa sapere che per convenzione dei pratici, appoggiata ai risultati dell'osservazioni, la massa delle spese accessorie ne' lavori murali in generale si ragguaglia ad un decimo della somma delle spese d'opera manuale. Con questi dati il costo d'un metro cubo di muro si deduce dalla seguente analisi.

Costo d'un metro cubo di pietrame in costruzione effettiva, a scudi 0,897 il metro cubo (§. 1048 anal. I.ª) . . . . . sc. 0,897
E più un decimo per lo spreco . . . . . . . . . » 0,090
Costo di m. c. 0,400 di malta in costruzione effettiva a scudi 2,607 il metro cubo (§. 1052) . . . . . . . . ». 1,043
E più un ventesimo per lo spreco . . . . . . . . . » 0,052
Tempo d'ore 4,5 d'un mastro muratore, e di un manovale, il primo a bai. 6, il secondo a bai. 4 l'ora . . » 0,450
Un decimo per le spese accessorie . . . . . . . . . » 0,045
Somma degl'importi di materiale, fatture, e spese accessorie sc. 2,577
Un decimo di provvisione . . . . . . . . . . . . » 0,258
Costo d'un metro cubo di muro di pietrame . . . . » sc. 2.835

§. 1054. Quando si tratta di muri di mattoni, il numero di questi, e la quantità della malta, occorrenti per la costruzione d'un metro cubo di muro, vogliونsi dedurre dalle dimensioni individuali de' mattoni, che debbono impiegarsi, e dalla grossezza di quella falda di malta che circonda all'intorno ciascun mattone, e lo tiene unito ai circostanti. Che anzi a tutto rigore anche la grossezza del muro da costruirsi dovrebbe farsi entrare nel calcolo: ma ciò si omette per render più semplice la determinazione; essendo altronde trascurabili gli errori che derivano da tale omissione. Sia $v$ il volume del mattone, quale risulta dalle sue dimensioni lineari, e $v'$ il volume della malta che l'avviluppa; talmente che ciascun mattone in opera con l'inviluppo della malta occuperà uno spazio $= v + v'$. Quindi il numero de' mattoni contenuti in

un metro cubo di muro sarà $=\frac{1}{v+v'}$. E sicome questi spogliati di malta formano un volume $=\frac{v}{v+v}$, così il volume della malta in un metro cubo di muro sarà $=1-\frac{v}{v+v'}=\frac{v'}{v+v'}$

Per esempio se dovesse costruirsi un muro di mattoni romani ordinari, essendo in una costruzione regolare un centimetro la grossezza della falda di malta, che separa un mattone qualunque da qualsivoglia de' circostanti, si avrebbe $v=0{,}001445$, $v'=0{,}000593$, e quindi sarebbe in ogni metro cubo di muro il numero de' mattoni $\frac{1}{v+v'}=491$ ed il volume della malta $\frac{v'}{v+v'}=0{,}291$ metri cubi. E quindi il prezzo elementare d'un metro cubo di muro di mattoni ordinari risulterà dalle due seguenti analisi, la prima diretta a determinare il prezzo elementare della malta, la seconda conducente alla determinazione del cercato importo elementare del muro. Supponendo che la costruzione debba effettuarsi dentro Roma, calcoleremo i mattoni al prezzo già trovato di scudi 5,807 il migliaio (§. 1046), e valuteremo la pozzolona al prezzo mercantile, che è di uno scudo il metro cubo, portata a qualsivoglia punto nell'interno di Roma.

I. Analisi del costo d'un metro cubo di malta per muro di mattoni, composto di calcina di Monticelli, e di pozzolana, nel rapporto di 30:70 (§. 551).

Importo di m. c. 0,369 di calcina in pasta, a scudi 3,275 il metro cubo, supponendo che l'estinzione possa eseguirsi nel luogo della fabbrica, senza che sia d'uopo nè di trasportare nè di attingere l'acqua. (§. 1049) . . . . . . . . . . . . . sc. 1,108
Importo di m. c. 0,861 di pozzolana, ad uno scudo il metro cubo . . . . . . . . . . . . . . . . . sc. 0,861
Tempo d'ore 15 d'un manovale per l'impasto, a bai. 3,5 l'ora, trattandosi di lavoro in città . . . . . . . » 0,525
Un decimo per le spese accessorie . . . . . . . . . . » 0,052
Costo d'un metro cubo di malta per muri di mattoni . sc. 2,546

II. Analisi del costo d'un metro cubo di muro di mattoni ordinari.

Importo di mattoni 491 in costruzione effettiva a scudi 5,807 il migliaio . . . . . . . . . . . . . . . . : sc. 2,851

Più un ventesimo per lo spreco . : . . . . . . . » 0,143

Importo di m. c. 0,291 di malta in costruzione effettiva a scudi 2,546 il metro cubo, come alla precedente analisi, . » 0,741

E più un ventesimo per lo spreco . . . . . . . . . » 0,037

Tempo d'ore 5 d'un mastro, e d'un manovale, il primo a bai. 5, il secondo a bai. 3,5 l'ora . . . . . . . » 0,425

Un decimo per le spese accessorie . . . . . . . . . » 0,042

Costo d'un metro cubo di muro di mattoni . . . . . . sc. 4,239

§. 1055. Ma nella costruzione de' muri di pietrame, o di materiale laterizio, oltre la formazione della massa, ch'è il solo lavoro da noi fin qui considerato, e che produce una spesa proporzionale al volume del solido che deve costruirsi, avvi un altro articolo essenziale di lavoraggio che vuol'essere valutato a parte, perchè il suo importo non segue la proporzione del volume, ma bensì quella dell'aree delle fronti, o paramenti delle masse murali. Quest'articolo consiste nell'esecuzione delle pratiche opportune per disporre le pietre lungo le fronti in guisa tale che queste riescano tirate perfettamente a filo e a piombo, o con una giusta scarpa prefissa, se si tratti di piedritti (§. 614 n.° 6), ovvero a seconda delle sagome, e delle centine stabilite, qualora si tratti di muri curvi, o di volte; cui si aggiunge la fazione di riempire di malta, o rabboccare, i vani che restano fra le pietre sulle fronti de'muri, la quale non vuol'essere omessa nell'atto della prima costruzione, sebbene debba poi essere ripigliata, e compita con maggiore accuratezza, quando si viene ad eseguire il finale stuccamento, o la generale incamiciatura delle facce de'muri nuovi. Nella tavola III.ª si adduce il tempo necessario per l'esecuzione di codesto articolo essenziale della prima costruzione de' muri. La tavola I.ª assegna la quantità di malta, che si presume possa abbisognare per tale operazione; quantunque a ben esaminare la cosa sembra che la malta occorrente all'uopo di cui qui si tratta non dovesse essere valutata a parte, ma bensì considerarsi compresa nella quantità già valutata nell'importo della costruzione della massa del muro. A fare la completa stima della costruzione dei muri è dunque d'uopo d'aggiugnere all'analisi del costo elementare del volume un'altra analisi, per cui si determini il costo elementare delle fronti; e di comprendere poscia nel ristretto estimativo (§. 976) tanto il prodotto del totale volume pel suo prezzo elementare, quanto il prodotto della somma dalle superficie di tutte le fronti per l'importo d'un metro

quadrato di paramento; avendo a tal effetto riportati distintamente nel prospetto metrico i volumi parziali, e la somma di essi, e così l'aree delle varie fronti, e la superficie totale ch'esse compongono. Nei due casi precedentemente trattati del muro di pietrame (§. 1053), e del muro di mattoni (§. 1054), gl'importi elementari de'paramenti risulterebbero dalle due analisi che qui soggiugniamo.

I. Analisi del costo della costruzion d'un metro quadrato di fronte per un muro in pietrame ec.

| | |
|---|---|
| Costo di m. c. 0,020 di malta in effettiva costruzione al prezzo di scudi 2,607 il metro cubo (§ 1052) | sc. 0,052 |
| E più un ventesimo per lo spreco | „ 0,003 |
| Tempo d'un ora del solo muratore | „ 0,060 |
| Un decimo per le spese accessorie | „ 0,006 |
| Somma di materiale, fattura, e spese accessorie | „ 0,121 |
| Un decimo di provvisione | „ 0,012 |
| Costo d'un metro quadrato di fronte del muro di pietrame | sc. 0,133 |

II. Analisi del costo della costruzione d'un metro quadrato di fronte per un muro di mattoni ec.

| | |
|---|---|
| Costo di m. c. 0,010 di malta in costruzione effettiva al prezzo di scudi 2,546 il metro cubo (§. 1054 anal. I^a^) | sc. 0,025 |
| E più un ventesimo per lo spreco | „ 0,001 |
| Tempo d'ore 1,20 del semplice muratore a baiocchi 5 l'ora | „ 0,060 |
| Un decimo per le spese accessorie | „ 0,006 |
| Somma degli importi del materiale della fattura, e delle spese accessorie | „ 0,092 |
| Un decimo di provvisione | „ 0,009 |
| Costo d'un metro quadrato di fronte del muro di mattoni | „ 0,101 |

§. 1056 Le costruzioni in pietra da taglio, le scogliere (§ 581), l'impiego degli smalti, o bitumi nella struttura delle muraglie subacquee (§. 562), i pavimenti, gl'intonachi, le coperture dei tetti, le selciate, la fabbrica delle volte, e delle parti superiori dei muri, ci offrirebbero vasto campo d'altre utili applicazioni in quest' argomento intorno alle stime dell'opere murali. Ma quegli esempi, sui quali ci siamo fermati, giudichiamo che possano essere sufficienti a mostrare la via da tenersi ne'moltiplici altri a casi che possono presentarsi nella pratica dell'arte edificatoria.

# TAVOLA I.

*Saggio d' una raccolta d' elementi per la valutazione delle quantità effettive de' materiali nell' analisi estimative de' lavori.*

| | Specificazione de' lavori | Qualità de' materiali | Quantità |
|---|---|---|---|
| | **CLASSE I.** | | |
| | *Lavori di terra.* | | |
| 1 | Impelliceiatura d' un metro quadrato della superficie d' un rilevato (§. 1000). | Cotenna erbosa di prato; metri quadrati. . . . . . | 4,90 |
| 2 | Costruzione d'una fascina lunga metri 2,50 o del diametro di m. 0,30 compresi i paletti occorrenti per fermarla in un lavoro di fascinata. La fascina in opera si schiaccia, e diventa della grossezza di m. 0,20 (§. 37). | Bacchette per la costruzione delle fascine; metri cubi. | 0,177 |
| | | Paletti della lunghezza di m. 1,50, e del diametro di metri 0,05.; numero . . | 6 |
| 3 | Costruzione di m. q. 3 di piano di rosta . . . . . . . . . . | Fascine . . . . . . n°. | 4 |
| | | Bacchette per le cordonata metri cubi . . . . . | 0,450 |
| | | Terra o ghiaia . . . m. c. | 0,186 |
| 4 | Costruzione d'un buzzone lungo m. 4, e del diametro di m. 0,80, ripieno di terra, o di ghiaia (§. 23) . . | Perticha o lattole della lunghezza di m. 4,20 e dal diametro di m. 0,05 . n°. | 12 |
| | | Fascine lunghe m. 2. e del diametro di m. 0,25 alla legatura . . . . n°. | 20 |
| | | Terra, o ghiaia per la riempitura . . . . m. c. | 0,500 |
| 5 | Costruzione di m. c. 100 di buzzonata con buzzoni delle predette dimensioni . . . . . . . . . . | Buzzoni . . . . . n°. | 39 |
| | | Paletti per fermare i bozzoni della lunghezza di m. 1,50, e del diametro di m. 0,06 . . . . n°. | 156 |
| | **CLASSE II.** | | |
| | *Lavori di legname.* | | |
| 6 | Impalombellatura d' un metro quadrato di falda di coperto (§. 298). | Piana di castagno, andanti . . . . . . . . m | 3,15 |
| | | Chiodi da 18 ℔ chilog. n°. | 3 |

| | Specificazione de' lavori | Qualità de' materiali | Quantità |
|---|---|---|---|
| | **CLASSE III.** | | |
| | *Ferramenti* | | |
| 7 | Costruzione d'un chilogrammo di ferramenti del primo genere (§. 1030). | Ferro . . . . . chil.<br>Carbone . . . . . m. c. | 1,00<br>0,0001 |
| 8 | Costruzione d'un chilogrammo di ferramenti del secondo genere . . . | Ferro . . . . . . chil.<br>Carbone . . . . m. c. | 1,00<br>0,0006 |
| 9 | Costruzione d'un chilogrammo di ferramenti del terzo genere . . . | Ferro . . . . . . . chil.<br>Carbone . . . . m. c. | 1,00<br>0,0010 |
| 10 | Costruzione di 100 caviglie della lunghezza di m. 0,90. . . . . . . | Ferro . . . . . .chil. | 0,832 |
| 11 | *Item* della lunghezza di m. 0,135 . | Ferro . . . . . . chil. | 11,000 |
| 12 | *Item* della lunghezza di m. 0,150 . | Ferro. . . . . . chil. | 12,400 |
| 13 | *Item* della lunghezza di m. 0,160 . | Ferro . . . . . chil. | 14.000 |
| 14 | *Item* della lunghezza di m. 0,190 . | Ferro . . . . . chil. | 19.000 |
| 15 | *Item* della lunghezza di m. 0,200 . | Ferro . . . . . chil. | 23.474 |
| 16 | *Item* della lunghezza di m. 0,220 . | Ferro . . . . . chil. | 29.067 |
| 17 | *Item* della lunghezza di m. 0,240 . | Ferro . . . . . chil. | 32,278 |
| 18 | *Item* della lunghezza di m. 0,270 . | Ferro . . . . . chil. | 37,185 |
| 19 | *Item* della lunghezza di m. 0,300 . | Ferro . . . . . chil. | 43,867 |
| 20 | *Item* della lunghezza di m. 0,325 . | Ferro . . . . . chil. | 55,556 |
| | **CLASSE IV.** | | |
| | *Spalmature di vernice e di catrame* | | |
| 21 | Preparazione d'un chilogrammo di vernice rossa in pasta (§. 1032). | Ocra rossa . . . chil.<br>Olio di lino cotto . chil. | 0,7692<br>0,2308 |
| 22 | Preparazione d'uo chilogrammo di vernice gialla in pasta . . . . . | Ocra gialla . . . chil.<br>Olio di lino cotto. chil. | 0,6667<br>0,3333 |
| 23 | Preparazione d'un chilogrammo di vernice nera in pasta . . . . . | Carbone in polvere. chil.<br>Olio di lino cotto . chil. | 0,5555<br>0,4444 |
| 24 | Preparazione d'un chilogrammo di vernice rossa liquida . . . . . | Vernice rossa in pasta chil.<br>Olio di lino cotto. chil. | 0,6173<br>0,3827 |
| 25 | Praparazione d'uo chilogrammo di vernice gialla liquida . . . . . | Vernice gialla in pasta chil.<br>Olio di lino cotto . chil. | 0,5780<br>0,4220 |
| 26 | Preparazione d'un chilogrammo di vernice nera liquida . . . . . | Vernice nera in pasta chil.<br>Olio di lino cotto . chil. | 0,4608<br>0,5392 |
| 27 | Preparaziona d'un chilogrammo di vernice liquida color di legno . . | Varnice rossa liquida chil.<br>Vernice gialla liquida chil. | 0,2500<br>0,7500 |

| | Specificazione de' lavori | Qualità de' materiali | Qualità |
|---|---|---|---|
| 28 | Preparazione d'un chilogrammo di vernice liquida color d'oliva . . | Vernice gialla liquida chil.<br>Vernice nera liquida . chil. | 0,7500<br>0,2500 |
| 29 | Dipintura ad una mano color di legno d'un metro quadrato di superficie sul legname . . . . . . . | Vernice color di legno chil. | 0,1200 |
| 30 | Dipintura ad una mano color d'oliva d'un metro quadrato di superficie sul legname . . . . . . . . | Vernica color d'oliva chil. | 0,1100 |
| 31 | Dipintura ad una mano di vernice nera sopra un metro quadrato di superficie di ferramenti . . . . . | Vernice nera liquida chil. | 0,0800 |
| 32 | Spalmatura di catrame sopra un metro quadrato di superficie di legname vergine (§. 1034). . . . . | Catrame . . . . m. c. | 0,0003 |
| 33 | Spalmatura di catrame sopra un metro quadrato di superficie di legname vecchio, ove sia stata rasa una vecchia intonicatura di catrame. . | Catrame . . . . m. c. | 0,0002 |
| | **CLASSE V.**<br>*Lavori murali.* | | |
| 34 | Preparazione d'un metro cubo di calcina di Monticelli in pasta (§. 533, 1049). . . . . . . . . . . | Calcina viva di Monticelli . . . . . . . m. c.<br>Acqua . . . . . . m. c | 0,424<br>1,343 |
| 35 | Preparazione d'un metro cubo di malta per muri di pietrame (§. 551, 1051) . . . . . . . . . . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c.<br>Pozzolana . . . . . m. c. | 0,185<br>1,045 |
| 36 | Preparazione d'un metro cubo di malta per muri di tavolozza (§. 551). | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . m. c.<br>Pozzolana . . . . . m. c. | 0,308<br>0,922 |
| 37 | Preparazione d'un metro cubo di malta per muro di mattoni (§. 551, 1054). . . . . . . . . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c.<br>Pozzolana . . . . . m. c. | 0,369<br>0,861 |
| 38 | Preparazione d'un metro cubo di malta per cortina di mattoni rotati in costa (§. 551). . . . . . . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c.<br>Pozzolana . . . . . m. c. | 0,554<br>0,676 |
| 39 | Preparazione d'un metro cubo di malta per mattonati (§. 551). . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c.<br>Pozzolana . . . . . m. c. | 0,443<br>0,787 |

| | Specificazione de' lavori | Qualità de' materiali | Quantità |
|---|---|---|---|
| 40 | Preparazione d'un metro cubo di malta per selciate (§ 551) . . . . . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c. | 0,271 |
| | | Pozzolana . . . . . . m. c. | 0,959 |
| 41 | Preparazione d'un metro cubo di malta per intonachi (§ 551) . . . . | Calcina di Monticelli in pasta . . . . . . . m. c. | 0,492 |
| | | Pozzolana . . . . . m. c. | 0,738 |
| 42 | Costruzione d'un metro cubo di muro di pietrame informe (§ 600, 1053). | Pietrame . . . . . m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,400 |
| 43 | Costruzione d'un metro cubo di muro di sassi squadrati . . . . . . . | Sassi squadrati . . m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. . | 0,200 |
| 44 | Costruzione d'un metro cubo di muro a grandi massi di pietra (§. 598). | Scogli o massi di pietra m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,050 |
| 45 | Costruzione d'un metro cubo di muro a mezzani massi di pietra (§. cit.). | Massi di pietra . . m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,100 |
| 46 | Costruzione d'un metro cubo di muro a grandi pietre da taglio (§. 593). | Pietra in conci . m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,050 |
| 47 | Costruzione d'un metro cubo di muro a pietra da taglio di mezzana grandezza (§. 593) . . . . . . . . | Pietra in conci . . m. c. | 1,000 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,100 |
| 48 | Costruzione d'un metro cubo di muro di mattoni ordinari (§. 607, 1054.) | Mattoni . . . . . . n°. | 491 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,291 |
| 49 | Costruzione d'un metro cubo di muro di mattoni piccoli . . . . . . . | Mattoni . . . . . . n°. | 278 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,260 |
| 50 | Costruzione d'un metro cubo di muro di mattoni grossi . . . . . . . | Mattoni . . . . . n°. | 286 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,244 |
| 51 | Costruzione d'un metro cubo di muro di pianelle . . . . . . . . . | Pianelle . . . . . . n°. | 479 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,328 |
| 52 | Costruzione d'un metro cubo di muro di mattoni quadrucci . . . . . | Mattoni . . . . . n°. | 696 |
| | | Malta . . . . . . m. c. | 0,295 |
| 53 | Fabbricatura d'un metro quadrato di facciata d'un muro di pietrame (§. 650) . . . . . . . . . | Malta . . al più m. c. | 0,020 |
| | | almeno m. c. | 0,010 |
| 54 | Rabboccatura d'un metro quadrato di facciata d'un muro di mattoni . | Malta . . . . . . m. c. | 0,010 |
| 55 | Arricciatura d'un metro quadrato di facciata di muro di pietrame . . | Malta . . . . . . m. c. | 0,020 |
| 56 | Arricciatura d'un metro quadrato di facciata di muro di mattoni . . | Malta . . . . . . m. c. | 0,015 |
| 57 | Costruzione di tetto impianellato, e coperta di tegole maritate in un metro quadrato di tetto (§. 297). . | Pianelle . . . . . . n°. | 20 |
| | | Tegola maritate . . n°. | 9 |

| | Specificazione de' lavori | Qualità de' materiali | Quantità |
|---|---|---|---|
| 58 | Costruzione d'un metro quadrato di selciata di quadrucci in arena (§. 123, 124) . . . . . . . . . . . | Quadrucci . . . . n°.<br>Arena . . . . . . m. c. | 90<br>0,170 |
| 59 | Costruzione d'un metro quadrato di selciata di bastardoni in malta . . . . . . . . . . . | Bastardoni . . . . n°.<br>Malte . . . . . m. c. | 90<br>0,140 |
| 60 | Costruzione d'un metro andante di guide in arena (§. 125). . . . | Guide . . . . . . n°.<br>Arena . . . . . . m. c. | 3 $\frac{1}{2}$<br>0,018 |
| 61 | Costruzione d'un metro andante di lista di guide in malta . . . . | Guide . . . . . . n.<br>Malta . . . . . . m. c. | 3 $\frac{1}{2}$<br>0,012 |
| 62 | Costruzione d'un metro andante di lista di mostacciuoli in arena . . | Mostaccioli . . . . n°.<br>Arena . . . . . m. c. | 3 $\frac{1}{2}$<br>0,050 |

# TAVOLA II.

*Della sopraggiunta da assegnarsi alle varie specie di materiali, per supplire alla quantità che ne va in ispreco nell' apparecchiarli, nel trasportarli, e nel metterli in opera; esprimendosi codesta sopraggiunta pel suo rapporto alla quantità di materia che va effettivamente in costruzione.*

| | Specificazione de' materiali, e delle varie destinazioni di essi | sopraggiunta in frazioni comuni | sopraggiunta in frazioni decimali |
|---|---|---|---|
| | CLASSE I. | | |
| | *Lavori di terra.* | | |
| 1 | Terra da versarsi sott'acqua dentro la cassa d'una tura (§. 408) | $\frac{1}{2}$ | 0,500 |
| 2 | Terra da versarsi dentro la cassa d' una tura sopra il livello dell' acque . . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{3}$ | 0,333 |
| | CLASSE II. | | |
| | *Lavori di legname.* | | |
| 3 | Legname squadrato o non isquadrato per palificazioni ec (§. 1025) . . . . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 4 | Legname squadrato grossolanamente, che per l'impiego cui è destinato debba essere tirato a filo vivo (§. 196) . | $\frac{1}{8}$ | 0,125 |
| 5 | Tavoloni e tavole da adoperarsi grezze . . . . . | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 6 | Tavoloni e tavole, i di cui margini debbono essere tirati a filo . . . . . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{8}$ | 0,125 |
| 7 | Legname da impiegarsi in lavori di molta minutezza — al più | $\frac{1}{4}$ | 0,250 |
| | — al meno | $\frac{1}{20}$ | 0,050 |
| | CLASSE III. | | |
| | *Lavori di ferro.* | | |
| 8 | Ferro per la fabbricazione di ferramenti del primo genere (§. 1030) . . . . . . . . . . . . . . | $\frac{3}{100}$ | 0,030 |

| | Specificazione de' materiali, e delle varie destinazioni di essi | | sopraggiunta | |
|---|---|---|---|---|
| | | | in frazioni comuni | in frazioni comuni |
| 9 | Ferro per la fabbricazione di ferramenti del secondo genere . . . . . . . . . . . . | | $\frac{8}{100}$ | 0,080 |
| 10 | *Item* per ferramenti del terzo genere . . . . | | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| | CLASSE IV. | | | |
| | ***Spalmature di vernice, e di catrame*** | | | |
| 11 | Vernici, e catrame (§. 1031) . . . . . . | | $\frac{1}{20}$ | 0,050 |
| | CLASSE V. | | | |
| | ***Lavori murali.*** | | | |
| 12 | Malta . . . . . . . . . . . . . | | $\frac{1}{20}$ | 0,050 |
| 13 | Pietrame (§. 600, 1053) . . . . . . . | | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 14 | Materiali laterizi (§. 607, 1054) . . . . . . | | $\frac{1}{20}$ | 0,050 |
| 15 | Massi di pietra greggi per la costruzione di muraglioni | al più | $\frac{1}{5}$ | 0,200 |
| | | al meno | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 16 | Pietra da taglio (§. 593) . . . . . | al più | $\frac{1}{4}$ | 0,250 |
| | | al meno | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 17 | Quadrucci, e altri materiali da selciate (§. 123, 125) . | | $\frac{1}{25}$ | 0,040 |

# TAVOLA III.

*Saggio d' una raccolta d'elementi per la valutazione delle fatture nell'analisi estimative de' lavori.*

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|---|
| | CLASSE I. | | | *ore* |
| | *Lavori di terra.* | | | |
| 1 | Rompimento, o smovitura (§. 991) d'un metro cubo di terreno . . . | vegetale<br>sciolto<br>forte<br>sassoso<br>tufaceo | Un lavorante terrainolo | 0,60<br>0,90<br>1,50<br>2,00<br>2,50 |
| 2 | Paleggiamento (§. 991) d'un metro cubo di terreno . . . . . | pantanoso<br>arenoso vegetale e sciolto<br>forte, sassoso e tufaceo | Un lavorante terraiuolo | 0,80<br>0,65<br>0,75 |
| 3 | Carico (§. 594) sopra la carriuola d'un metro cubo di terreno . | pantanoso<br>arenoso, vegetale e sciolto<br>forte, sassoso e tufaceo | Un lavorante terraiuolo | 0,75<br>0,60<br>0,70 |
| 4 | Carico di un metro enbo di terreno sopra carrette . . . . . | pantanoso<br>arenoso, vegetale e sciolto<br>forte, sassoso e tufaceo | Un lavorante terraiuolo | 0,80<br>0,65<br>0,75 |
| 5 | Spandimento (§. 997) d'un metro cubo di terreno . . . . . | arenoso, vegatale e sciolto<br>forte, sassoso e tufaceo | Un lavorante terraiuolo | 0,15<br>0,25 |
| 6 | Pestamento o pigiatura (§. 998) d'un metro enbo di terreno arenoso, vegetale, sciolto, e forte . . . . | | Un lavorante terraiuolo | 0,50 |
| 7 | Spianamento (§. 999) d'un metro quadrato di superficie d'un rilevato di terreno. | arenoso, vegetale e sciolto<br>forte, sassoso e tufaceo | Un lavorante terraiuolo | 0,10<br>0,13 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari. | artefici manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | ore |
| 8 | Cavatura, e taglio di piote erbose per impellicciare un metro quadrato di superficie d'un rilevato (§. 1000). | Un lavorante terraiuolo | 0,50 |
| 9 | Impellicciatura effettiva d' un metro quadrato di superficie d' un rilevato. | Un lavorante terraiuolo | 0,80 |
| 10 | Spurgo d' un metro cubo di sabbia mobile per mezzo di cucchiaio a mano (§. 885), sotto un' altezza media d' acqua di m. 1,50 . . . | Un lavorante capace | 10,00 |
| 11 | Spurgo d' un metro cubo di fango per mezzo di cucchiaie a mano sotto un' altezza d' acqua di m. 2 circa . | Due lavoranti capaci | 0,77 |
| 12 | Spurgo d' un metro cubo di sabbia mobile per mezzo d' una macchina a gerle (§. 887) sotto un' altezza d' acqua di due in tre metri . . | Cinque lavoranti addetti alla manovra effossoria . | 1,00 |
| 13 | Fattura d' una fascina longa m. 2,50, avente il diametro di m. 0,30, e dei sei paletti necessari per fermarla in un lavoro di fascinata (§. 37) . | Un lavorante capace . . | 0,50 |
| 14 | Mettitura in opera d' una fascina . | Un lavorante capace . . | 1,00 |
| 15 | Fattura d' un buzzone longo m. 4, e del diametro di m. 0,80 (§. 23) . | Un lavorante capace . . | 5,00 |
| | **CLASSE II.** *Lavori di Legname.* | | |
| 16 | Fattura della testa, e della punta d' un palo lungo 4 in 6 metri, e di 20 in 25 centimetri di diametro, compresa la calzatura del cuspide senza incastro . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 1,25 |
| 17 | *Item:* per un palo longo 6 in 8 metri e del diametro di 30 in 35 centimetri . . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 2,50 |
| 18 | Fattura della testa, e della punta a delle palanche della larghezza di 30 in 40 centimetri, a della grossezza di 10, in 15 centimetri, per ogni metro andante di palanca . . . | Un carpentiere . . . . | 0,20 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | *ore* |
| 19 | Fattura della testa, e della punta a delle palanche della larghezza di 30 in 40 centimetri, e della grossezza di 10 in 15 centimetri, per ogni metro andante di palanca, con incastro marginale delle palanche a canale, e linguetta . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 0,80 |
| 20 | Intelaiatura d'una palanca (§. 953). | Un carpentiere . . . . | 0,20 |
| 21 | Ritagliatura d'un metro quadrato di faccie di legname squadrato, e di legname segato a fine di tirarlo a filo vivo (§. 196) . . . . . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 2,00<br>1,00 |
| 22 | Segatura longitudinale d'un metro quadrato di legname sui cavalletti (§. 197) . . . . . . . . . | Due segatori . . . . . | 0,70 |
| 23 | Segatura per traverso d'un metro quadrato di legname nell'officina . . | Un carpentiere . . . . | 5,00 |
| 24 | Recisione orizzontale d'un metro quadrato di teste di pali in opera con seghe comuni, non essendone impedito l'uso dall'acqua. . . . . | Due carpentieri . . . . | 5,25 |
| 25 | Recisione orizzontale d'un metro quadrato di teste di palanche in opera con seghe comuni . . . . . . | Due carpentieri . . . . | 6,25 |
| 26 | Fattura d'un metro andante di buchi per chiavarde. . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 1,00 |
| 27 | Fattura d'un metro andante di buchi per chiavarde sopra legname già esistente in opera, e ficcamento delle chiavarde corrispondenti . . | Un carpentiere . . . . | 3,00 |
| 28 | Fattura della mortisa per un incastro marginale a maschio, e femmina (§. 244 n° 5) . . . . . . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 2,00<br>1,00 |
| 29 | Fattura del dente per un incastro marginale a maschio, e femmina . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 2,25<br>1,25 |
| 30 | Fattura dell'incavo per un incastro semplice a mezza grossezza (§. 244 n° 1). | Un carpentiere { al più<br>al meno | 1,50<br>0,50 |
| 31 | Fattura d'un metro quadrato d'ingambellature, o sia giunture d'estremità di legni squadrati, a dente semplice in isquadro (§. 238 n° 1) . | Un carpentiere . . . . | 10,50 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elemeotari | artefici, maoovali, e lavoranti occupati | | tempo occorreote |
|---|---|---|---|---|
| | | | | *ore* |
| 32 | Fattora d'un iogambellatora lunga uo metro, per congiungere l' estremità di due travi della riqoadratora di m. 0,35, in corrispondenza del precedeute elemeoto . . . . . . | Un carpentiere . . . . | | 3,68 |
| 33 | Fattura, come sopra, d'un ingambellatura lunga m. 0,50 per congiungere l' estremità di doe travi della riqoadratora di m. 0,25 . . . . | Un carpentiere . . . . | | 1,31 |
| 34 | Giootora di due legni squadrati a semplice ognatura (§. 242 n° 5). | Un carpentiere . . . . | | 5,00 |
| 35 | Fattura d'un incastro semplice a coda di roodioe (§. 244 n° 3) . . . | Un carpentiere . . . . | | 6,00 |
| 36 | Intrusione d' una caviglia di ferro . | Un carpeutiere . | al più<br>al meno | 0,25<br>0,06 |
| 37 | Estrusione d' una caviglia di ferro . | Uo carpentiere . | al più<br>al meoo | 0,25<br>0,06 |
| 38 | Impostatura d'un chilogrammo di ferramenti locassati sol legoame . . | Uo carpentiere . . . . | | 0,20 |
| 39 | Mettitora in opera d'un metro aodante di corrente, o traversa, o filagna della riquadratura di 16, a 22 centimetri, io pezzi della lunghezza di 4 in 5 metri . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | | 0,20 |
| 40 | Disfacimento, o sia levatura d'opera d'on metro andante di correote, o di traversa, come qui sopra, non compresa l' estrazione delle caviglie trattandosi d'oo lavoro provvisiouale. | Un carpentiere .<br>Un garzooe . | al più<br>al meno<br>al più<br>al meno | 0,05<br>0,04<br>0,10<br>0,06 |
| 41 | Mettitora in opera d'un metro andante di filagna della riqoadratura di 10, e 15 centimetri, in pezzi della lunghezza di m. 2 . . . . | Un carpentiere . . . . | | 0,15 |
| 42 | Disfacimento d'un metro andante di filagna della predetta riquadratora, io pezzi della prefata lunghezza di m. 2 . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . .<br>Uo garzone . . . . . | | 0,05<br>0,10 |
| 43 | Mettitura io opera d'un metro andante di tavolone largo m. 0,25 in qualità di fascia pel coocatenamento dei membri principali di qualche sistema . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | | 0,10 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | *ore* |
| 44 | Disfacimento, o sia levatura d'opera d'un metro andante del tavolone anzidetto . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . .<br>Un garzone. . . . . | 0,04<br>0,06 |
| 45 | Mettitura in opera d'un metro quadrato di tavolone per formare il tavolato d'un palco provvisionale . | Un carpentiere . . . .<br>Un garzone . . . . . | 0,02<br>0,08 |
| 46 | Disfacimento d'un metro quadrato dell'anzidetto tavolato . . . . | Un carpentiere . . . .<br>Un garzone . . . . . | 0,02<br>0,08 |
| 47 | Scelta, ed imbastimento d'un metro cubo di legname, segnatamente per quei lavori che richiedono un preventivo lineamento (§. 1029) . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 6,00<br>3,00 |
| 48 | Formazione d'un metro cubo di legname quando non sia d'uopo di ritagliarne le facce, come avviene quando si tratta della costruzione di centinature, di ponti di servizio ec., ove i membri abbiano una riquadratura maggiore di m. 0,25 . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 20,00<br>10,00 |
| 49 | *Item*, ove i membri sieno d'una riquadratura minore di m. 0,25 . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 30,00<br>20,00 |
| 50 | Formazione d'un metro cubo di legname da ritagliarsi per essere ridotto a filo vivo, come si richiede nella costruzione de' ponti, trattandosi di membri aventi una riquadratura maggiore di m. 0,25 . . . . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 50,00<br>30,00 |
| 51 | *Item*, trattandosi di membri aventi una riquadratura minore di m. 0,25. | Un carpentiere. { al più<br>al meno | 60,00<br>40,00 |
| 52 | Formazione d'un metro cubo di legname con intagli, ritondature, scanalature ec.; trattandosi di membri d'una riquadratura maggiore di metri 0,25. . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 60,00 |
| 53 | *Item*, trattandosi di membri d'una riquadratura minore di m. 0,25 . | Un carpentiere . . . . | 70,00 |
| 54 | *Item*, ove si tratti di membri di grandi macchine come sopra grue, berte ec. . . . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 90,00 |
| 55 | *Item*, trattandosi di membri per piccole macchine, come argani, burbere, taglie, ec. . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 150,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manuali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | ore |
| 56 | Scomposizione, numerazione, ed ordinamento nell' officina d' un metro cubo di leguame completamente formato per essere messo in opera (§. 1029) . . . . . . . . . | Un carpentiere, { al più<br>al meno | 2,00<br>1,00 |
| 57 | Carico d' un metro cubo di legname sui mezzi di trasporto . . . . . | Un garzone . . . . . | 2,00 |
| 58 | Scarico d' un metro cubo di legname dai mezzi di trasporto . . . . . | Un garzone . . . . . | 1,50 |
| 59 | Mettitura in opera d' un metro cubo di legname in piccoli membri, sollevati dagli stessi carpentieri, ed aventi una riquadratura maggiore di m. 0,25 . . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 20,00 |
| 60 | *Item*, trattandosi di membri che abbiano una riquadratura minore di m. 0,25 . . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 30,00 |
| 61 | *Item*, trattandosi di membri di grandezza mediocre, e di riquadratura maggiore di m. 0,25, i quali in parte possono essere commessi in anticipazione . . . . . . . . | Un carpentiere . . . . | 10,00 |
| 62 | *Item*, ove si tratti di membri aventi una riquadratura minore di m. 0,25. | Un carpentiere . . . . | 20,00 |
| 63 | *Item*, trattandosi di grandi membri di legname da tirarsi in alto per mezzo di macchine ognuno da se, ovvero più d' uno per volta . . . . . | Un carpentiere. { al più<br>al meno<br>Un garzone . . . . . . | 5,00<br>3,50<br>10,00 |
| 64 | Disfacimento, d' un metro cubo di legname per centinature di volte, ponti di serviaio, ec. compreso l'accatastamento dei pezzi levati d' opera. | Un carpentiere . . . .<br>Un garzone . . . . . | 2,00<br>4,00 |
| | **CLASSE III.**<br>***Ferramenti.*** | | |
| 65 | Fattura d' un chilogrammo di ferramenti del primo genere (§. 1030). | Un fabbro, ed un garzone. | 0,10 |
| 66 | Fattura d' un chilogrammo di ferramenti di secondo genere . . . . | Un fabbro, ed un garzone. | 0,40 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | ore |
| 67 | Fattura d'un chilogrammo di ferramenti del terzo genere . . . . | Un fabbro, ed un garzone. | 0,70 |
| 68 | Fattura d'una vite all'estremità d'una chiavarda, e della corrispondente madrevite . . . . . . . . . . | Un fabbro ferraio . . . . al più / al meno | 0,50 / 0,20 |
| 69 | Fattura d'un chilogrammo di ferramenti tirati alla lima . . . . . | Un fabbro, ed un garzone . al più / al meno | 4,50 / 1,00 |
| 70 | Trasporto dall'officina al luogo della costruzione, e mettitura in opera d'un chilogrammo di ferramenti del primo genere . . . . . . . | Un fabbro, e un garzone. | 0,04 |
| 71 | *Item*, per un chilogrammo di ferramenti del secondo genere . . . . | Un fabbro, ed un garzone. | 0,20 |
| 72 | *Item*, per un chilogrammo di ferramenti del terzo genere . . . . | Un fabbro, ed un garzone. | 0,40 |
| | CLASSE IV. *Spalmature di vernice, e di catrame.* | | |
| 73 | Macinazione d'un chilogrammo di ocra rossa . . . . . . . . | Un garzone macinatore. . | 8,50 |
| 74 | Macinazione d'un chilogrammo d'ocra gialla . . . . . . . . . . | Un garzone macinatore. . | 6,50 |
| 75 | Macinazione d'un chilogrammo di carbone in polvere . . . . . | Un garzone macinatore. . | 8,50 |
| 76 | Verniciatura d'un metro quadrato di superficie di legname, o di ferramenti. | Un verniciatore . . . . | 0,20 |
| 77 | *Item* in alto sopra ponti di servizio. | Un verniciatore . . . . | 0,50 |
| 78 | Raschiamento d'un metro quadrato di superficie di legname per toglierne i residui d'una vecchia spalmatura . . . . . . . . . . . | Un lavorante capace. . . | 0,01 |
| 79 | Spalmatura di catrame sopra un metro quadrato di superficie di legname . . . . . . . . . | Un lavorante capace . . | 0,07 |
| 80 | *Item*, in alto sopra ponti di servizio. | Un lavarante capace . . | 0,10 |
| | CLASSE V. *Lavori murali.* | | |
| 81 | Cavatura dell'acqua necessaria per l'estinzione d'un metro cubo di calcina (§. 1050) . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 3,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| 82 | Estinzione effettiva d'un metro cubo di calcina . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 5,00 |
| 83 | Unione, e rimescolamento delle materie per formare un metro cubo di malta . . . . . . . . . | Un manovale . { al più / al meno | 20,00 / 12,00 |
| 84 | Preparazione d'un metro cubo di polvere di mattone da impiegarsi nella composizione delle malte (§. 546). | Un manovale . . . . . | 65,00 |
| 85 | Preparazione d'un metro cubo di scaglie di macigno per composizione di bitumi (§. 562) . . . . . . | Un manovale . . . . . | 8,00 |
| 86 | Vagliatura o sia paleggiamento sulla ramata d'un metro cubo di miscuglio naturale di arena, e di ghiaia per separare le due materie diverse (§. 993) . . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 2,50 |
| 87 | Carico sulle carriuole d'un metro cubo di pietrame . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,80 |
| 88 | Carico sulle carette d'un metro cubo di pietrame . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,85 |
| 89 | Carico sulle carrette d'un metro cubo di mattoni, e altri materiali laterizi. | Un manovale . . . . . | 1,00 |
| 90 | Scarico dalle carette d'un metro cubo di mattoni . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,50 |
| 91 | Carico, a scarico d'un metro cubo di pietra dal taglio da trasportarsi per mezzo di carretti tirati da manovali . . . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,75 |
| 92 | Stivamento d'un metro cubo di pietrame, affinchè se ne possa misurare il volume . . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,70 |
| 93 | Costruzione d'un metro cubo di sassaia sott'acqua (§. 577) . . . . | Un manovale . . . . . | 0,80 |
| 94 | Costruzione d'un metro cubo di sassaia, con maggiore recuratezza . . | Un manovale . . . . . | 1,00 |
| 95 | Versamento d'un metro cubo di bitume sott'acqua . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 0,80 |
| 96 | La stessa operazione eseguita con maggiore accuratezza . . . . . . . | Un manovale . . . . . | 1,20 |
| 97 | Fattura della massa d'un metro cubo di muro di macerie o sia di pietrame a secco . . . . . . . . . | Un muratore, ed un garzone. | 4,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | ore |
| 98 | Fattura d'un metro quadrato di faccia in un muro di pietrame a secco . | Un muratore. . . . . . | 0,50 |
| 99 | Fattura della massa d'un metro cubo di muro di pietrame in malta . . | Un muratore ed un garzone. | 4,50 |
| 100 | *Item*, a qualche altezza da terra con l'uso di ponti di servigio . . . | Un muratore ed un manovale | 6,50 |
| 101 | Fattura d'un metro quadrato di faccia piana in un muro di pietrame in malta . . . . . . . . . . | Un muratore . . . . . | 1,00 |
| 102 | Fattura d'un metro quadrato di superficie curva d'una volta di pietrame in malta . . . . . . . | Un muratore . , . . . . | 1,50 |
| 103 | Fattura d'un metro quadrato di faccia d'un muro di pietrame in malta, qualora le pietre apparenti debbono essere squadrate, e sgrossate dal muratore nell'atto stesso della costruzione, affinchè ne risulti una struttura esteriore a corsi regolari . . | Un muratore capace . . | 9,00 |
| 104 | Fattura d'un metro quadrato di superficie curva d'una volta, qualora le pietre apparenti debbano essere conciate, e sgrossate come sopra . | Un muratore capace. . . | 10,00 |
| 105 | Fattura d'un metro quadrato di faccia in un muro di pietrame, ove le pietre esterne debbano essere squadrate, e tirate con la martellina (§. 508) . . . . . . . . . . | Un muratore capace . . | 11,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | *ore* |
| 106 | La stessa fattura in un metro quadrato di superficie d'una volta . . | Un muratore capace . . | 12,00 |
| 107 | Stuccatura finale delle commettiture delle pietre sopra un metro quadrato di faccia d'un muro di pietrame . . . . . . . . . . . | Un muratore ed un garzone. | 1,00 |
| 108 | *Item*, con bisogno di ponti di servizio. | Un muratore ed un garzone. | 1,25 |
| 109 | Fattura della massa d'un metro cubo di muro di mattoni. . . . . . | Un muratore ed un garzone. | 6,00 |
| 110 | *Item*, con bisogno di ponti di servizio. | Un muratore ed un garzone. | 7,00 |
| 111 | Fattura d'un metro quadrato di faccia in un muro di mattoni . . . | Un muratore . . . . . | 1,20 |
| 112 | Fattura d'un metro quadrato di superficie in una volta di mattoni. . | Un muratore . . . . . | 1,80 |
| 113 | Stuccatura finale delle commettiture sopra un metro quadrato di faccia d'un muro di mattoni . . . . | Un muratore ed un garzone. | 1,25 |
| 114 | Arricciatura d'un metro quadrato di faccia d'un muro di pietrame, o di mattoni . . . . . . . . | Un muratore ed un garzone. | 1,00 |
| 115 | Fattura d'un metro quadrato di pelle piana sul granito francese (§. 1043). | Uno scarpellino . . . . | 28,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | *ore* |
| 116 | Fattura di un metro quadrato di pelle piana sulla pietra calcarea dura de'contorni di Parigi denominata *roche* . . . . . . . . | Uno scarpellino . . . . | 9,00 |
| 117 | Fattura d'un metro quadrato di pelle piana sulla pietra calcarea tenera, parimente de' contorni di Parigi, denominata *vergelé* . . . . . . | Uno scarpellino . . . . | 3,50 |
| 118 | Segatura d'un metro quadrato d'alabastro orientale . . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 20,00 |
| 119 | *Item*, di breccia d'Aleppo. . . . | Un segatore di marmi . . | 24,21 |
| 120 | *Item*, di marmo campano verde, di marmo campano rosso, di broccatello antico, e di broccatello di Spagna . . . . . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 26,32 |
| 121 | *Item*, di marmo verde di Genova, di portoro, di breccia pavonazza, di marmo giallo di Siena, e di marmo giallo di Verona . . . . . | Un segatore di marmi . . | 29,47 |
| 122 | *Item*, di marmo comunemente detto diaspro di Sicilia . . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 31,68 |
| 123 | *Item*, di verde di Susa, di verde ranocchia antico, e di breccia africana . . . . . . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 33,68 |
| 124 | *Item*, di verde antico . . . . . | Un segatore di marmi . . | 34,74 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari. | artefici manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| 125 | *Item*, di cipollino . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 35,79 |
| 126 | *Item*, di granito rosso antico . . . | Un segatore di marmi . . | 206,32 |
| 127 | *Item*, di porfido . . . . . . . | Un segatore di marmi . . | 309,47 |
| 128 | Polimento d'un metro quadrato d'alabastro orientale . . . . . | Un lustratore di marmi . | 16,32 |
| 129 | *Item*, di marmo campano verde, di marmo campano rosso, di broccatello antico, di broccatello di Spagna, di verde di Genova, di breccia pavonazza, e di breccia di Verona. . . . . . . . . . . | Un lustratore di marmi . | 22,89 |
| 130 | Polimento d'un metro quadrato di portoro, di giallo di Siena, di giallo di Verona, e di giallo antico. | Un lustratore di marmo . | 25,00 |
| 131 | *Item*, di diaspro di Sicilia, di breccia africana, e di verde antico . . | Un lustratore di marmo . | 30,00 |
| 132 | *Item*, di verde di Susa, e di verde ranocchia antico . . . . . . . | Un lustratore di marmo . | 31,32 |
| 133 | *Item*, di cipollino. . . . . . . | Un lustratore di marmo . | 37,63 |
| 134 | *Item*, di granito orientale . . . . | Un lustratore di marmo . | 127,63 |
| 135 | *Item*, di porfido . . . . . . . | Un lustratore di marmo . | 270,00 |

| | specificazione de' lavori, e delle fattore elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| 136 | Imbracatore d'uo masso di pietra, onde possa essere sottomesso alla macchina elevatoria . . . . . | Due manovali capaci per l' effettiva operazione e pel perditempo tutto l'equipaggio della macchina | 0,50 |
| 137 | Tiratora d'un masso di pietra ad un metro d'altezza, col sussidio degli ordinari apparati elevatori . . . | Tutto l' eqoipaggio della macchioa con l' assistenza dei due iodividui addetti all' imbracatura . . . | 0,10 |
| 138 | Mettitura in opera d'on metro cubo di pietra . . . . . . . . | Un capo mastro, due mastri, ed un maoovale. . | 5,00 |
| 139 | Stuccatura d'un metro andante di commissure oelle faccie de' muri di pietra da taglio . . . . . . | Un mastro, ed uo garzone. | 0,50 |
| 140 | Scalzatora d'uo metro andante di commissure sulle faccie d'un vecchio moro in pietra da taglio, quaodo se ne voglia rinoovellare la stoccatura . . . . . . . . . . | Un mastro ed un garzone. | 0,10 |
| 141 | Spaodimento, e conguagliamento d'on metro cubo di smalto per costruzioue di battuti . . . . . . | Un mastro, ed un garzone. | 4,50 |
| 142 | Battitura d'nn metro quadrato di soperficie d'uoo strato di smalto nella costruzione de'battnti . . . . . | Un manovale capace . . | 1,50 |
| 143 | Fattura d'on metro quadrato di selciata di quadrucci in arena . . . | Uo selciaioolo, un battitore, e due garzooi . . . | 0,18 |

| | specificazione de' lavori, e delle fatture elementari | artefici, manovali, e lavoranti occupati | tempo occorrente |
|---|---|---|---|
| | | | *ore* |
| 144 | Fattura d'un metro quadrato di selciata di quadrucci, o di bastardoni in malta . . . . . . . . | Un mastro selciaiuolo, e quattro manovali . . . | 0,18 |
| 145 | Mettitura in opera d'una guida in arena nella costruzione di selciate . . . . . . . . . . . . | Un mastro selciaiuolo, e due manovali . . . . | 0,09 |
| 146 | Mettitura in opera d'un mostacciuolo in arena come sopra . . . . | Un mastro selciaiuolo, e due manovali . . . . | 0,03 |
| 147 | Disfattura d'un metro quadrato di vecchia selciata in arena . . . . | Un manovale . . . . . | 0,14[illegible] |
| 148 | Disfattura d'un metro quadrato di vecchia selciata in malta . . . . | Un manovale . . . . . | 0,23 |

# TAVOLA IV.

*Della somma presuntiva delle spese accessorie nella valutazione delle varie specie di lavori, espressa pel suo rapporto alla spesa totale del lavoraggio*

| | specificazione de' lavori | somma delle spese accessorie | |
|---|---|---|---|
| | | in frazioni comuni | in frazioni decimali |
| 1 | Lavori di terra. . . . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{20}$ | 0,050 |
| 2 | Grossi lavori di legname . . . . . . . . . . | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 3 | Lavori minuti di legname (1). . . . . . . . . | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 4 | Grandi ferramenti lavorati semplicemente all'incudine. | $\frac{1}{7}$ | 0,143 |
| 5 | Ferramenti tirati con la lima . . . . . . . . . | $\frac{1}{5}$ | 0,200 |
| 6 | Spalmature di vernice, e di catrame . . . . . | $\frac{1}{7}$ | 0,143 |
| 7 | Costruzioni murali. . . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{10}$ | 0,100 |
| 8 | Costruzioni di selciate . . . . . . . . . . . | $\frac{1}{12}$ | 0,080 |

(1) *Per questa sorta di lavori di legname la somma delle spese accessorie ha l' addotto rapporto, non col semplice importo dell' opera manuale, ma bensì con l' aggregato delle spese di materiale, e di lavoraggio* (§ 1034).

# SEZIONE SECONDA

## STIMA DELL' OCCUPAZIONE

## CAPO VII.

### *Occupazione de' terreni campestri.*

§. 1057. L'occupazione de' terreni campestri, causata dal bisogno, o dalla vaghezza delle varie imprese architettoniche, è di due sorte, cioè *assoluta*, e *rispettiva*. La prima toglie decisamente il fondo all'agricoltura, e ne annulla perpetuamente il reddito, di cui la sua feracità rendevalo capace, relativamente ai sistemi di coltivazione appropriabili alle locali circostanze fisiche, ed economiche. Così quando un terreno è destinato a prestar l'arêa per l'apertura d'una nuova strada, o d'un nuovo alveo di canale o di fiume; ovvero a servir di base ad un tempio, ad un palazzo, o ad altro qualsivoglia edificio. La seconda non fa che sospendere per qualche tempo il reddito, e minorarlo anche talvolta per un consecutivo numero d'anni. Tal'è il caso dei terreni che vengono occupati per la formazione di qualche strada provvisionale: o per istabilirvi l'officine, i magazzini, le stalle, gli alloggiamenti pei ministri, e pei mercenari nelle occasioni di grandi costruzioni: o per cavarvi la terra, l'arena, la ghiaia, le pietre, materiali necessari all'eseguimento delle varie opere architettoniche. La stima delle occupazioni assolute consiste nella ricerca del valor reale del fondo occupato, secondo i principii stabiliti nella scienza economica. La stima dell'occupazioni rispettive si riduce a cercare una somma equivalente alla perdita, cui va soggetto il reddito del fondo, per quel tempo che dura l'occupazione, o che se ne prolungano gli effetti.

§. 1058. Il valore d'un campo è espresso dalla somma, o capitale, equivalente all'annuo reddito netto, che il fondo, considerato nell'intrinseca, e nella relativa sua feracità, è capace di dare; aggiunto a codesta somma il valore de' *capitali infruttiferi* esistenti nel campo, come alberi da ricavarne semplicemente legname da lavoro, o legna da fuoco, sementi sparse, concimi ecc.; e diffalcatone l'importo delle *spese istantanee*, di quelle spese cioè che potrebbero essere istantaneamente necessarie per qualche lavoro straordinario da eseguirsi, a fine di mettere il fondo, e le sue varie pertinenze, in uno stato corrispondente al sistema di coltivazione, cui è, o dovrebb'essere addetto, ad all'annuo reddito netto che

si è supposto doverne derivare. Se dunque si chiami $V$ il valore del campo, e dicansi $X$ il capitale equivalente all'annuo reddito netto, $Y$ la somma dei valori dei capitali infruttiferi, e $Z$ l'aggregato delle spese istantanee, si avrà per ciò che si è detto $V = X + Y - Z$. Importa dunque d'indagare come debbano essere determinati i valori delle quantità $X$, $Y$, $Z$.

§. 1059. Qualora l'annuo reddito netto d'un podere, ed in generale di qualsivoglia data estensione superficiale di terreno, abbia, per quanto verosimilmente è lecito di supporre, un valore costante $t$, intendendo che da $r$ venga, come altra volta (§. 969), simboleggiato l'aggregato dell'unità pecuniaria col corrispondente interesse annuo legale, si ottiene immediatamente il capitale $X$ equivalente a codesto reddito dalla semplicissima eqnazione $X = \frac{t}{r-1}$. Questa dunque ci farà conoscere il capitale $X$ del reddito netto annuo d'un campo, sempre che questo sia costante; siccome accade per esempio nei pascoli, e nei prati: ne' boschi ove i tagli sieno regolati a modo di ricavarne ogni anno uno stesso verosimile fruttato in legname da costruzione, ovvero in legna da ardere: ne' terreni dati alla coltura de' cereali, o d'altri prodotti erbacei, sempre che lo scomparto del campo, ed il turno delle seminagioni, sieno talmente ordinati, che le produzioni abbiano presuntivamente ogni anno ad esser le stesse in qualità, ed in quantità, ed ugualmente costante la somma delle spese di coltivazione.

§. 1060. Ma il più delle volte accade che il reddito netto de' campi è vario da un anno all'altro per un certo periodo di anni, la cui durata dipende dalla qualità dei prodotti, che formano lo scopo della coltivazione, dalla natura e dalle fisiche circostanze del terreno, e dal metodo osservato nella coltura della terra, e delle piante ad essa affidate. Spirato il qual periodo altri uguali poi ne succedono, pel corso di ciascheduno de' quali il reddito in ogni anno torna ad esser lo stesso che fu nell'anno corrispondente del primo periodo. Tal'è il caso degli oliveti, delle vigne, de' pometi, ed in generale de' terreni destinati alla coltivazione di piante che vivono, e danno frutto per molti anni, ove è assegnato alle piante che si coltivano un periodo presuntivo di vita fruttifera, corrispondente all'indole naturale delle loro specie, e alla qualità del terreno, e alla sua esposizione, e alle condizioni del clima; ed accade che ne' primi anni di tale periodo il reddito è piccolo, o nullo, ovvero anche negativo, finchè durano le spese di piantagione, e di prima coltivazione, e finchè è nullo, o tenuissimo il fruttato delle nuove piantagioni; che quindi il reddito viene aumentandosi d'anno

in anno, finchè pervenute le piante al perfetto loro sviluppo il reddito annuo giugne al suo maggior valore, e tal si conserva costantemente o con lievi variazioni fino all'epoca, in cui le piante cominciano a decadere; che finalmente a tal'epoca, il reddito comincia, e gradatamente continua a scemare, fino a rendersi nullo, o piccolissimo negli ultimi anni del periodo vitale, e fruttifero, quantunque nell'ultimo anno di tale periodo abbia talvolta un valore cospicuo, dipendente dal prezzo della legna che ricavasi con l'atterramento dell'alberature. Ora in simili casi, se suppongasi $=n$ il numero degli anni componenti il periodo del rinnovellarsi de' redditi con ordine, e con valori costanti, al qual periodo comunemente si dà il titolo di *rotazione agraria*, e si chiamino $y', y'', y''', y'^{v} \ldots y^{(n-1)}, y^{(n)}$ i redditi netti del primo, del secondo, del terzo del quarto, ecc., del $(n-1)^{mo}$, dell'$n^{mo}$ anno di ciaschedun periodo, o rotazione; raziocinando coi noti principii della dottrina degli interessi, in modo conforme a quello, cui ci siamo attenuti in una ricerca analoga alla presente sul principio di questo libro (§. 969 e seg.), facilmente dedurremo che tutti quei differenti redditi *veri*, appartenenti ai diversi anni del periodo, possono convertirsi in un reddito costante equivalente $R$. cui sta bene il nome di reddito medio, espresso dalla formola

$$R=\frac{r-1}{r^n-1}\left\{\begin{array}{l} r^{n-1}y'+r^{n-2}y''+r^{n-3}y'''+r^{n-4}y'^{v}+\ldots \\ \ldots+r^2y^{(n-2)}+ry^{(n-1)}+y^{(n)}, \end{array}\right\}$$

dove $r$ ha il solito significato. E siccome poi codesto reddito medio appartiene a qualunque si voglia dei periodi, o rotazioni, che l'una all'altra si succedono, così è chiaro che sarà esso il reddito medio perpetuo, equivalente a tutti i differenti redditi che l'un dopo l'altro si verranno periodicamente avverando nel corso indefinito degli anni. E se ne deduce quindi l'equivalente capitale fruttifero.

$$X=\frac{R}{r-1}=\frac{1}{r^n-1}\left\{\begin{array}{l} r^{n-1}y'+r^{n-2}y''+r^{n-3}y'''+r^{n-4}y'^{v}+ \\ \ldots\ldots:+r^2y^{(n-2)}+ry^{(n-1)}+y^{(n)} \end{array}\right\}$$

§. 1061. Ma il capitale $X$ del reddito variabile con la supposta legge di periodico rinnovellamento non è lo stesso a qualunque epoca della rotazione agraria: il che è facile ad arguirsi; ed il valore che ne abbiamo testè ricavato appartiene soltanto a quell'epoca, in cui termina un periodo, e ne incomincia un altro. Sarebbe dunque falsa ed ingiusta la stima se al capitale del reddito variabile si attribuisse codesto valore, quando fosse da indagarsi il prezzo del fondo ad un'epoca diversa da quella, a cui esso unicamente appartiene, cioè al cominciamento d'una rotazione, o periodo. Sarà bensì espresso costantemente a qualunque epoca dallo stesso valore il prezzo del fondo, ove si tratti di stime censuali; poichè l'obbietto di queste non vuole che si guardi al presente stato de'campi, ma esige che si rimonti a quella prima epoca astratta, in cui tutte le terre cominciarono ad essere coltivate; e di più che una stess'epoca si assuma indistintamente per tutte le terre, affinchè l'estimo sia, per così dire, imparziale, e costituisca una giusta bilancia per l'uguale distribuzione delle pubbliche imposte sui terreni.

§. 1062. Si voglia determinare il valore del campo allo spirare dell'anno $m^{mo}$ ed al cominciare dell'$(m+1)^{mo}$ della rotazione originaria, che supporremo, come dianzi, d'anni $n$, intendendo pure come sopra che sieno $y', y'', y''', \ldots . y^{(n)}$, i redditi veri degli anni primo, secondo, ecc., $n^{mo}$ del periodo. Poichè dall'epoca a cui si vuol riferire la stima procedendo innanzi avranno successivamente luogo i redditi annui $y^{(m+1)}$, $y^{(m+2)} \ldots y^{(n)}, y', y'', \ldots y^{(m-1)}, y^{(m)}$, i quali avveratisi l'uno dopo l'altro con l'ordine in cui gli abbiamo annunciati nel corso d'anni $n$, torneranno da capo ad avverarsi con l'ordine stesso in altri $n$ anni, e così sempre di nuovo; ne segue che tali redditi variabili, incipienti come abbiamo supposto al cominciare dell'anno $(m+1)^{mo}$ del periodo, equivaleranno ad un reddito medio $R$ espresso dalla seguente formola generale

$$R = \frac{r-1}{r^n-1} \left\{ \begin{array}{l} r^{n-1} y^{(m+1)} + r^{n-2} y^{(m+2)} + \ldots . r^m y^{(n)} + \ldots \\ + r^{m-1} y' + r^{m-2} y'' + \ldots r^2 y^{(m-2)} + r y^{(m-1)} + y^{(m)} \end{array} \right\}.$$

E quindi il capitale $X$ equivalente a questo reddito medio, e conseguentemente ai redditi variabili, cui esso corrisponde, sarà

$$X = \frac{R}{r-1} = \frac{1}{r^n - 1} \left\{ \begin{array}{l} r^{n-1} y^{(m+1)} + r^{n-2} y^{(m+2)} + \ldots + r^m y^{(n)} \\ + r^{m-1} y' + \ldots + r^2 y^{(m-2)} + r y^{(m-1)} + y^{(m)} \end{array} \right\}.$$

§. 1063. Abbiamo dunque in codesta formola generale il modo di determinare il capitale $X$ per qualsivoglia epoca del periodo della rotazione agraria, sempre che sieno noti i redditi veri $y', y'', y''', y'v \ldots y^{(n-1)}, y^{(n)}$, di tutti gli anni componenti il periodo. Per determinare ciascheduno di tali redditi occorre di fare la somma di tutte l'entrate presumibili del corrispondente anno, e difalcarne la somma di tutte le spese, cioè non solo di quelle occorrenti per conseguire le dette entrate, ma ben'anche di quelle che si richieggono per mantenere il fondo corrispondentemente ai buoni metodi d'agricoltura, relativi a quel genere di coltivazione, cui esso è addetto; dal che dipende il pieno conseguimento de' redditi degl'anni successivi, e la completa maturazione del periodo, appropriato alla qualità, e alle circostanze del terreno, e del clima. Se non che la somma delle spese, prima d'esser sottratta da quella dell'entrate, vuol'essere aumentata nella ragione dell'interesse annuo del denaro, cioè nel rapporto di $1:r$, atteso che una tal somma conviene che si abbia pronta al principio di ciascun anno, per poter far fronte a tutte le spese di mano in mano che occorrono nel corso delle varie stagioni, mentre l'entrate non si percepiscono che alla fine dell'anno. La quale considerazione se non è del tutto rigorosa, è però abbastanza approssimativa al vero; nè altronde sarebbe sperabile di portare allo scrupolo quest'articolo, concernente l'epoche diverse dell'anno, alle quali occorre d'effettuare le varie spese, ed è dato d'incassare le somme costituenti i vari capi dell'entrate.

Le cognizioni agronomiche generali e particolari, e l'esperienza, servono di guida a determinare con verosimili criteri, dipendentemente dalla natura, dall'estensione superficiale, e dalle circostanze del fondo da stimarsi, la durata $n$ della rotazione, le quantità delle varie raccolte, che presuntivamente possono conseguirsi ne'singoli anni del periodo, libere da ogni infortunio, non che le quantità degli articoli diversi di provviste, e di lavori, che generano le spese di ciaschedun anno. Le raccolte, le provviste, i lavori, si valutano a prezzi adeguati, dedotti

per solito dai risultati medii de' mercati d'un prossimo decennio consecutivo, in cui non sieno occorse singolari vicende, che possano aver alzato, o abbassato straordinariamente il valore delle derrate, e dell'opera manuale. Nella somma delle spese devono anche comprendersi quelle che risguardano la sopraintendenza e l'amministrazione dell'azienda campestre, le quali sogliono ragguagliarsi ad un tanto per cento sulla massa dell'entrate. Ove poi regna il sistema delle così dette *colonie*, o *mezzadrie*, l'entrate debbono ridursi al valore di quella sola parte de' ricolti, che secondo le consuetudini de' contratti tocca al proprietario del fondo, e che dicesi perciò parte *dominicale*, aggiuntovi il valsente di quelle retribuzioni in generi, o in denaro, di cui sogliono esser gravati i coloni a favore del padrone: e così pure le spese debbono ridursi al valore di quelle sole provviste, e di que' soli lavori, che giusta le consuete convenzioni coloniche sono riserbati al proprietario del campo.

§. 1064. La formola generale esprimente il capitale del reddito medio $X$ (§. 1062), è evidentemente composta di tanti termini quanti sono gli anni della rotazione, contenendo ciascheduno di tali termini, il reddito vero d'uno degli anni del periodo. Nei casi pratici dato il numero $n$ degli anni della rotazione, noto il numero $m$ ch'esprime l'epoca attuale del periodo, dati i valori de' redditi $y', y'', y''', \ldots, y^{(n)}$, ed assegnato un congruo valore all'elemento $r$, è d'uopo di determinare separatamente il valore numerico di ciascheduno di quei termini, che compongono il valore d'$X$, ovvero di $X'$, e di farne poscia la somma di tutti. Ma qualora avvenga che per parecchi anni consecutivi del periodo si abbia uno stesso reddito vero, tutti i corrispondenti termini della serie, che rappresenta il valore d'$X$, ovvero di $X'$, possono essere raccolti in un termine solo, e quindi si ha il vantaggio di poter determinare con una sola operazione l'aggregato dei valori numerici di tutti quei termini. In fatti se supponghiamo che dal termine $h^{mo}$ esclusivamente in poi fino al termine $(h+k)^{mo}$ inclusivamente della serie esprimente il valore di $X$, sussista costantemente lo stesso reddito vero annuo $= z$, ci sarà facile di dedurre che la somma di tutti quei termini della serie è

$$\left(r^{n-h-1}+r^{n-h-2}+\ldots .r^{n-h-k}\right)\frac{z}{r^{n}-1}=\frac{r^{n-h-k}\left(r^{k}-1\right)}{\left(r^{n}-1\right)\left(r-1\right)}.$$

E quindi invece di determinare ad uno ad uno i valori numerici di quei vari termini involgenti il reddito costante $z$, se ne determinerà in un sol colpo l'aggregato, per mezzo di questa formola che lo rappresenta.

§. 1065. Immaginiamo che fosse proposto di stimare un podere nella pianura bolognese, dell'estensione superficiale di tornature 50 in misura locale, che equivalgano a metri quadrati 104021,79, o sia, giusta il nuovo sistema, a tornature metriche 10, tavole 40, e m. q. 21,79; il quale fosse dato a colonía, e regolarmente coltivato, secondo lo stile ordinario di quel territorio, a frumento, canapa, granturco, legumi, ecc., con piantate d'olmi, e di viti, con casa colonica, con stalla pel bestiame occorrente a lavorare il fondo, con un pezzo di terreno a prato pel mantenimento del bestiame stesso, con aia, maceratoio, ecc.: supponendo che gli alberi, e le viti fossero al compimento dell'anno trentesimo della loro età, che potessero fruttuosamente vivere alri 50 anni, costituendosene così una rotazione d'anni 80, la quale all'epoca della stima sarebbe all'anno trentesimo. Nella tavola prima alla fine del presente capitolo esibiamo in compendio i redditi veri annui, i quali fingiamo congh̀ietturati sull'appoggio di tutte le notizie, e di tutte le considerazioni, che abbiamo non ha guari avvertite (§. 1063); ed a fronte di ciascheduno di essi veggonsi registrati i valori numerici de' termini corrispondenti della serie, che costituisce il capitale equivalente a tutti quei redditi, all'epoca attuale in cui il fondo vien messo a stima; calcolati nell'ipotesi di $r=1{,}04$, cioè che l'interesse annuo del denaro sia del quattro per cento. Affinchè l'esempio riesca più chiaro abbiamo anche voluto notare i singoli termini, quali risultano dalla semplice sostituzione numerica; d'onde poi cogli opportuni calcoli si ricavano i corrispondenti valori numerici a scudi romani. Il risultamento de' calcoli fa conoscere che il capitale $X'$ dei redditi del podere, quando se ne riferisce la stima all'epoca, in cui le piante compiscono l'anno trentesimo della loro età, è di scudi 5659,061.

§. 1066. Se la stima dello stesso podere dovesse essere riferita all'epoca, in cui ha principio una nuova rotazione gli annui redditi avrebbero ad essere portati a capitale con l'ordine loro originario, come apparisce nella tavola seconda. In questa ipotesi il capitale $X$ dei redditi si trova uguale a scudi 4493,351; e questa somma esprimerà poi a qualunque epoca il capitale fruttifero equivalente alla serie de' redditi del podere, quando si tratti di assegnarne il valor censuale (§. 1061).

§. 1067. Spesso avviene che sia proposto di stimare un terreno con piantagioni provette, ma non corrispondenti sia per la quantità, sia per la floridezza, all'estensione, e alla qualità del fondo, secondo le più utili pratiche agronomiche, ovvero all'età di esse, perchè o da principio furono ordinate con poco accorgimento, o susseguentemente ne fu trasandato il governo: dal che nasce che per quegli anni, che rimangono a compiere l'incoata rotazione, i redditi annuali dovranno necessariamente esser minori di quelli, che si avrebbero se le piantagioni fossero in uno stato pienamente corrispondente all'età loro, ed all'estensione, e alla qualità del fondo. Ora facilmente si comprende che in simili casi converrà desumere il capitale dei redditi in parte da quelli che appartengono allo stato attuale delle piantagioni, fino all'epoca del loro atterramento, ed in parte dei redditi di cui si renderà capace con regolare periodo in perpetuo, da che alla detta epoca potrà essere piantato di bel nuovo in un sistema conforme alle buone pratiche agronomiche.

Supponghiamo che sieno $z', z'', z''', \ldots\ldots z^{(a-1)}, z^{(a)}$ i redditi presuntivi che potranno ottenersi negli anni $a$, che si congettura debbano trascorrere, prima che convenga di abbattere le piantagioni attuali, e di ripiantare regolarmente il podere. A codesti differenti redditi equivale un reddito uniforme $E$, che si finge percepibile per lo stesso numero $a$ d'anni consecutivi, e il di cui valore è, come abbiamo già veduto (§. 1060),

$$E = \frac{r-1}{r^a-1}\left(r^{a-1}z' + r^{a-2}z'' + r^{a-3}z''' + \ldots + rz^{(a-1)} + z^{(a)}\right).$$

Quando poi saranno passati quegli anni $a$ comincerà un nuovo periodo d'anni $n$, ed altri uguali ad esso ne succederanno in perpetuo, che daranno con una sempre costante rotazione i redditi annui $y', y'', y''' \ldots\ldots y^{(n-1)}, y^{(n)}$, equivalenti ad un reddito uniforme $R$, conseguibile dall'anno $(a+1)^{mo}$ in poi senza fine, cioè

$$R = \frac{1}{r^n - 1}\left(r^{n-1}y' + r^{n-2}y'' + r^{n-3}y''' + \ldots + ry^{(n-1)} + y^{(n)}\right).$$

Intendiamo ora che sieno determinati i valori numerici di $E$, e di $R$, e quindi anche la differenza $E-R$ di codeste due quantità; e di leggeri apparirà che in sostanza la serie dei redditi costanti $E$ per un numero $a$ d'anni consecutivi dall'epoca attuale, e de' successivi redditi parimenti costanti $R$ in perpetuo, equivale a due altri redditi uniformi $R$, ed $E-R$, ch'entrambi incomincino a correre fin dall'epoca presente, e de' quali il primo non sia mai per venir meno, il secondo debba cessare dopo un numero $a$ d'anni. E quindi concluderemo che l'aggregato de' capitali corrispondenti a tali due redditi l'uno perpetuo, l'altro transitorio, sarà il capitale equivalente ai redditi veri, dipendenti, come si è detto, in parte dallo stato presente della coltivazione del podere, ed in parte dal sistema più opportuno in cui potrà essere messo, spirato il periodo delle attuali piantagioni. Se dunque chiamamo $X''$ codesto capitale de' redditi del podere, avremo

$$X'' = \frac{R}{r-1} + \frac{(r^a-1)(E-R)}{r^a(r-1)};$$

e questo capitale $X''$ sarà il valore d'$X$ da introdursi nella formola generale (§. 1058) per determinare il valore attuale del podere.

§. 1068. Si scorge che il valore di $X''$ è composto di due parti, una $\frac{R}{r-1}$ costante, qualunque sia l'epoca a cui si riporta la stima, l'altra

$\frac{(r^a-1)(E-R)}{r^a(r-1)}$ variabile relativamente al numero d'anni $a$, di

cui è funzione la quantità $E$. La prima esprime il capitale originario, che costituisce il valor censuale del fondo (§. 1061), considerato questo mantenuto nel sistema più opportuno e più regolare; la seconda è un capitale accessorio, che deriva dal sistema effettivo in cui trovasi il fondo, e dal numero degli anni che deve durare tuttora lo stesso attuale sistema. Che se la cattiva condizione dell'attuali piantagioni, e la tenuità delle rendite vere, ritraibili finchè esse venissero conservate, fossero

tali che ne risultasse $R > E$, e quindi $X''$ minore del capitale fruttifero originario, se ne inferirebbe non doversi differire nè poco nè punto la restaurazione del fondo, e conseguentemente la stima di esso dovrebbe istituirsi come se spirasse allora la rotazione, facendo $X = \frac{R}{r - 1}$ (§. 1060), portando fra' i capitali infruttiferi il valore della legna ritraibile nell' atterramento delle piantagioni attuali, e fra le spese istantanee la somma occorrente per eseguire l' atterramento.

Del resto il valore di $X''$ esprime in generale il capitale de'redditi del podere a qualunque epoca, ed in qualunque stato sieno le sue piantagioni; nè sarebbe difficile di provare, che qualora all' epoca della stima il podere si trovasse in un sistema pienamente regolare, e le piante in uno stato corrispondente all' età loro, talmente che fatto $a = n - m$ si avesse $z' = y^{(m+1)}$, $z'' = y^{(m+2)}$, ... $z^{(a-1)} = y^{(n-1)}$, $z^{(a)} = y^{(n)}$: tornerebbe esattamente (§. 1062)

$$X'' = X' = \frac{1}{r^n - 1} \left\{ \begin{array}{l} r^{n-1} y^{(m+1)} + r^{n-2} y^{(m+2)} + \ldots + r^m y^{(n)} \\ + r^{m-1} y' + r^{m-2} y'' + \ldots + r y^{(m-1)} + y^{(m)} \end{array} \right\}.$$

§. 1069. Ripigliando il caso pratico, che abbiamo già precedentemente trattato (§. 1066), supponghiamo che l'attuali piantagioni, di cui è vestito il podere, ne'cinquant' anni che sono per durare, valgano a fare ascendere gli annui redditi alle somme che leggonsi registrate nella tavola terza, e che si convertono ne' redditi medi notati incontro a ciascuno di essi nell' ultima colonna a destra. La somma di tutti codesti redditi uniformi equivalenti ci darà $E = 187,524$. Avendosi poi dalla tavola seconda il capitale fruttifero originario del podere $= 4493,351$, se ne ricava $R = 0,04 \times 4493,351 = 179,73404$. E quindi sarà (§. 1067)

$$X'' = 4493,351 + 167,335 = 4660,686;$$

vale a dire che il capitale fruttifero all' epoca supposta sarà di scudi 4660,686.

§. 1070. Che se in questa istessa guisa si volesse determinare il capitale fruttifero nell'ipotesi che le piantagioni fossero pienamente corrispondenti alla propria età, alla qualità, ed all' estensione del fondo, ed al miglior sistema agronomico seguito nel territorio, ov' esso esiste; e che quindi i redditi veri fossero fin d' ora quelli che competono alle varie epoche dell'incoata rotazione, la quale anderebbe a rinnovellarsi

per la prima volta dopo il corso d'anni 50, ed avrebbe poi successivamente il periodo costante d'anni 80: si troverebbero i redditi medi per gli anni che mancano al compimento del periodo attuale come sono riportati nella tavola quarta dirimpetto ai redditi veri, cui equivalgono, e ne risulterebbe $E=233,998$. Ed essendo poi qui pure $R=0,04\times4493,351=179,73404$, se ne dedurrebbe (§. 1067)

$$X''=4493,351+1165,649=5659.$$

Onde si torna ad avere per questa via lo stesso valore del capitale fruttifero, che erasi precedentemente ottenuto (§. 1065) mediante la formola $X'$, in una ipotesi pienamente conforme; il che abbiamo avvertito dovere generalmente accadere in simili casi (§. 1068). E sì fatta corrispondenza de' risultati ottenuti per diverse vie ci porge insieme una conferma della giustezza del metodo in generale, ed un mezzo per assicurarci per via di confronto della veridicità de' risultamenti effettivi nelle pratiche applicazioni.

§. 1071. La determinazione effettiva de' valori delle quantità $Y$, $Z$, rappresentanti una la somma de' capitali infruttiferi, l'altra la somma delle spese presentanee (§. 1058), non include difficoltà; e richiede semplicemente che sieno accuratamente riconosciuti tutti i vari articoli che appartengono all'una e all'altra di tali due partite nella stima del fondo, ed attribuiti a ciascuno di essi prezzi corrispondenti. Quanto a questi ragion vuole che lo stimatore si attenga non già ai risultati medi de' mercati, come nella determinazione dei redditi (§. 1064), ma bensì al saggio cui effettivamente si valutano ne' mercati le derrate, e l'opere all'epoca della stima. In ordine al riconoscimento de' vari articoli da comprendersi fra i capitali infruttiferi, e fra le spese presentanee, basterà di ripetere in generale che fra i primi debbono annoverarsi tutti quegli oggetti, che all'epoca della stima sono inerenti al terreno, senza contribuire ad accrescerne il reddito, come i semi, e i concimi già sparsi sul campo, gli alberi che solo valgono per la legna da lavoro o da fuoco che se ne può ricavare atterrandoli, ecc: e nelle seconde debbono comprendersi gl'importi di tutte quelle diverse provviste ed operazioni, che possono essere necessarie, e per correggere qualche difetto che accadesse di notare nella costituzione attuale del terreno, e delle sue piantagioni, onde far sì che corrisponda perfettamente a quel sistema regolare, da cui debbono derivare i supposti redditi, come sarebbe la sistemazione degli scoli, il risarcimento degli edifici rurali ecc.; e per poter convertire in danaro il valore già calcolato de' capitali infruttiferi, come per esempio sarebbe il taglio degli alberi infruttiferi, atti a dar legna

da lavoro o da fuoco ecc. Per ciò che risguarda le fabbriche rurali conviene distinguere quelle che sono necessarie per la coltivazione del fondo, quali sono la casa colonica, le stalle pel bestiame occorrente pel lavorío della terra, e pel trasporto de' prodotti, de' concimi, ecc.; il granaio, la cantina, il fienile, e queste non vanno considerate per conto alcuno nella stima, atteso che implicitamente il valore di esse è compreso nel capitale fruttifero; ed anzi, come abbiam detto, sono da includersi fra le spese presentanee gl' importi de' restauri, di cui esse potessero abbisognare: e quelle fabbriche che sono estranee al bisogno della coltura del fondo, e sono semplicemente destinate al piacere, al commodo, ovvero a secondarie speculazioni industriali del proprietario, le quali debbono essere stimate giusta le massime che esporremo nel seguente capitolo intorno alle stime delle fabbriche.

§. 1072. Spesse volte accade che il terreno da occuparsi, e di cui si deve fare la stima, non è l' intero podere, ma una porzione di esso più o meno grande. Se si tratti d'una piccola frazione, il di cui stralcio non sia per indurre alterazione rimarchevole nel sistema generale della coltivazione del podere, se ne può istituire direttamente la stima, secondo i principii ed i metodi finora spiegati. Ma se la porzione che dev' essere staccata dal podere sia estesa talmente, che tolta essa cangi notabilmente il sistema della coltivazione generale del fondo, sarà espediente più sicuro di farne indirettamente la stima, sottraendo cioè dal valore del fondo nel suo stato d'integrità il valore che potrà ad esso competere dopo lo stralcio di quella data sua parte, ed il cangiamento che necessariamente ne deriverà nel sistema generale della coltivazione di esso, e nel turno, e ne' valori dei redditi.

§. 1073. Fin qui delle stime dell' occupazioni assolute: e solo ci resta a dire dell' occupazioni rispettive (§. 1057); di che ci spediremo con somma brevità. L' occupazioni rispettive offrono tre casi distinti: il primo quando il danno cade meramente sul reddito dell'anno corrente; il secondo quando il danno si estende sui redditi di vari anni consecutivi; il terzo finalmente quando gli effetti dannosi dell'occupazione vanno alla perpetuità. Nel primo caso non occorre che di valutare il danno, pel valore semplice di quella parte di reddito, che si perde in quell' anno, a cui si limitano gli effetti dell' occupazione. Nel caso secondo è d' uopo di prefiggere presuntivamente il numero e degli anni, che dovranno trascorrere, prima che cessino i dannosi effetti dell' occupazione, e le somme $u', u'', u''', \ldots u^{(e)}$, che costituiranno verosimilmente le perdite sui redditi dei vari anni di quel periodo. Ed allora poi si avrà per determinare il capitale $P$ equivalente a tutte quelle perdite parziali espresso dalla formola generale.

$$P = \frac{1}{r^e}\left( r^{e-1}u' + r^{e-2}u'' + r^{e-3}u''' + \ldots + ru^{(e-1)} + u^{(e)} \right),$$

siccome può facilmente dimostrarsi. Finalmente nel terzo caso o che si presumerà doversi incontrare in perpetuo una perdita annua costante $u$, ed il capitale equivalente sarà $= \frac{u}{r-1}$; ovvero che potrà arguirsi una diminuzione variabile da un anno all' altro, ma costante in tutti gli anni corrispondenti dei diversi consecutivi periodi della rotazione, ed allora si potrà dedurre il valore del danno proveniente dall' occupazione, sottraendo dal valore attuale del terreno quel valore di esso, che sarà per risultare susseguentemente all' occupazione, ed al cangiamento che è per derivarne nei redditi dei diversi anni della rotazione. Nè lasceremo d' avvertire che quando il danno sia di uno, o di pochi anni, si deve fare la valutazione dipendentemente dai prezzi presenti delle derrate, e dell' opera manuale; e qualora poi il danno duri per molti anni, ovvero in perpetuo, in allora fa d' uopo di calcolare le derrate, e l' opera manuale ai prezzi medi d' un decennio, come si prescrisse per le stime dell' occupazioni assolute (§. 1063).

# TAVOLA I.

*Per determinare il capitale fruttifero del podere allo spirare dell' anno trentesimo della rotazione* (§. 1065).

| anni della rotazione: dall'epoca attuale | anni della rotazione: dall'epoca originaria | osservazioni | redditi veri annui: negativi | redditi veri annui: positivi | termini corrispondenti della serie rappresentante il capitale *X*. | valori numerici dei termini corrispondenti: negativi | valori numerici dei termini corrispondenti: positivi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dal I. al XXX. | dal XXXI. al LX. | Periodo della maggior floridezza delle piantagioni, e del massimo loro frutto . . . . | | 236,456 | $\frac{\overline{1,04}^{50}(\overline{1,04}^{30}-1)236,456}{(\overline{1,04}^{80}-1)\,0,04}$ | | 4273,900 |
| dal XXX. al IL. | dal LXI. al LXX. | Periodo del decadimento delle piantagioni . . . . | | 214,404 | $\frac{\overline{1,04}^{31}(\overline{1,04}^{19}-1)214,404}{(\overline{1,04}^{80}-1)\,0,04}$ | | 907,700 |
| L. | LXXX. | Anno dell'atterramento delle piante . . . . . . | | 495,998 | $\frac{\overline{1,04}^{30}\times 495,998}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 72,988 |
| LI. | I. | Rinnovellamento delle piantagioni. | 143,589 | | $\frac{\overline{1,04}^{29}\times 143,589}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | 20,317 | |
| LII. | II. | Coltura delle nuove piantagioni infruttifere . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{28}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 23,103 |
| LIII. | III. | *Item* . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{27}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 11,561 |
| LIV. | IV. | *Item* . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{26}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 21,360 |
| LV. | V. | *Item* . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{25}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 10,689 |
| LVI. | VI. | *Item* . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{24}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 19,749 |
| | | | | | | 20,317 | 5341,050 |

| Anni della rotazione: dall'epoca attuale | Anni della rotazione: dall'epoca originaria | osservazioni | redditi veri annui: negativi | redditi veri annui: positivi | termini corrispondenti della serie rappresentante il capitale $X$. | valori numerici dei termini corrispondenti: negativi | valori numerici dei termini corrispondenti: positivi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| . . | . . | . . . . . . | . . | . . | . . . . . . . . | 20,317 | 5341,050 |
| LVII. | VII. | *Item* . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{23}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 9,883 |
| LVIII. | VIII. | *Item* . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{22}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 18,259 |
| LIX. | IX. | *Item* . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{21}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 9,137 |
| LX. | X. | *Item* . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{20}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 16,882 |
| dal LXI. al LXXX. | dal XI. al XXX. | Periodo in cui le piantagioni cominciano ad esser fruttifere . . . . . | | 210,297 | $\frac{(\overline{1,04}^{20}-1)\times 210,297}{(\overline{1,04}^{80}-1)\times 0,04}$ | | 284,167 |
| Somma de' termini positivi . . . . . | | | | | | | 5679,378 |
| Somma de' termini negativi . . . . . | | | | | | | 20,317 |
| Capitale fruttifero del podere allo spirare dell'anno trentesimo della rotazione . . . . | | | | | | | 5659,061 |

# TAVOLA II.

*Per determinare il capitale fruttifero del podere al cominciare della rotazione* (§. 1066).

| anni della rotazione | osservazioni | redditi veri annui | | termini corrispondenti della serie rappresentante il capitale *X*. | valori numerici dei termini corrispondenti | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | negativi | positivi | | negativi | positivi |
| I. | Rinnovellazione delle piantagioni . . . . | 143,589 | | $\frac{\overline{1,04}^{79}\times 143,589}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | 144,330 | |
| II. | Coltura delle nuove piantagioni infruttifere . . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{78}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 164,119 |
| III. | *Item* . . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{77}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 82,130 |
| IV. | *Item* . . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{76}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 151,739 |
| V. | *Item* . . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{75}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 75,935 |
| VI. | *Item* . . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{74}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 140,294 |
| VII. | *Item* . . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{73}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 70,207 |
| VIII. | *Item* . . . . . . | | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{72}\times 169,806}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 129,712 |
| IX. | *Item* . . . . . . | | 88,375 | $\frac{\overline{1,04}^{71}\times 88,375}{\overline{1,04}^{80}-1}$ | | 64,911 |
| | | | | | 144,330 | 879,047 |

| anni della rotazione | osservazioni | redditi veri annui |  | termini corrispondenti della serie rappresentante il capitale $X$ | valori numerici dei termini corrispondenti |  |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  | negativi | positivi |  | negativi | positivi |
| . . . | . . . . . . . . . . |  | . . . | . . . . . . . . . . . | 144,330 | 879,047 |
| X. | *Item.* . . . . . . . |  | 169,806 | $\frac{\overline{1,04}^{70} \times 169,806}{\overline{1,04}^{80} - 1}$ |  | 119,928 |
| dal XI. al XXX. | Periodo in cui le piantagioni cominciano ad esser fruttifere. . . |  | 210,297 | $\frac{\overline{1,04}^{50} (\overline{1,04}^{20} - 1)\, 210,297}{(\overline{1,04}^{80} - 1) \times 0,04}$ |  | 2018,273 |
| dal XXXI. al LX. | Periodo della massima floridezza delle piantagioni, e del massimo loro fruttato. . . . |  | 236,456 | $\frac{\overline{1,04}^{20} (\overline{1,04}^{30} - 1)\, 236,456}{(\overline{1,04}^{80} - 1) \times 0,04}$ |  | 2318,000 |
| dal LXI. al LXXIX. | Periodo del decadimento delle piantagioni. |  | 214,404 | $\frac{1,04\,(1,04^{19} - 1)\, 214,404}{(\overline{1,04}^{80} - 1) \times 0,04}$ |  | 279,925 |
| LXXX. | Anno dell'atterramento delle piantagioni. . |  | 495,998 | $\frac{495,998}{\overline{1,04}^{80} - 1}$ |  | 22,508 |
| Somma de' termini positivi . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |  |  |  |  |  | 4637,681 |
| Somma de' termini negativi . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |  |  |  |  |  | 144,330 |
| **Capitale fruttifero del podere al principio della rotazione** . . . . . . . . . . . . |  |  |  |  |  | 4493,351 |

## TAVOLA III.

*Per determinare il valore di* E *nel caso contemplato al* §. 1069.

| Anni della rotazione | | osservazioni | redditi veri annui | | termini rappresentanti i redditi medi equivalenti | valori numerici de' redditi medi equivalenti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dall'epoca attuale | dall'epoca originaria | | negativi | positivi | | negativi | positivi |
| dal I. al XXX. | dal XXXI. al LX. | Periodo della maggior floridezza delle piantagioni, e del massimo loro fruttato . . . | | 189,165 | $\frac{\overline{1,04}^{20}(\overline{1,04}^{30}-1)\,189,165}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 152,261 |
| dal XXXI. al IL. | dal LXI. al LXXIX. | Periodo del decadimento delle piantagioni . . . . | | 171,523 | $\frac{1,04\,(\overline{1,04}^{19}-1)\,171,523}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 32,338 |
| L. | LXXX. | Anno dell'atterramento . . . . | | 446,398 | $\frac{0,04\times 446,398}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 2,925 |
| Somma esprimente il valore di *E* . . . . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | 187,524 |

## TAVOLA IV.

*Per determinare il valore di* E *nel caso contemplato al* §. 1070.

| Anni della rotazione | | osservazioni | redditi veri annui | | termini rappresentanti i redditi medi equivalenti | valori numerici de' redditi medi equivalenti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dall'epoca attuale | dall'epoca attuale | | negativi | positivi | | negativi | positivi |
| dal I. al XXX. | dal XXXI. al LX. | Periodo della maggior floridezza delle piantagioni, e del massimo loro fruttato . . . | | 236,456 | $\frac{\overline{1,04}^{20}(\overline{1,04}^{30}-1)\,236,456}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 190,326 |
| dal XXXI. al IL. | dal LXI. al LXXIX. | Periodo del decadimento delle piantagioni . . . . | | 214,404 | $\frac{1,04\,(\overline{1,04}^{19}-1)\,214,404}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 40,422 |
| L. | LXXX. | Anno dell'atterramento . . . . | | 495,998 | $\frac{0.04\times 495,998}{\overline{1,04}^{50}-1}$ | | 3,250 |
| Somma esprimente il valore di *E* . . . . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | 233,998 |

pure d'un ponte, il quale fosse unicamente destinato a tenere in comunicazione quella parte d'un campo, che dal proprietario viene ceduta, con l'altra di cui esso si riserba la proprietà, ecc. Ed è giusto altresì che una fabbrica debba essere apprezzata alla semplice valuta di sito e cementi, tutte le volte che quantunque nell'uso a cui è addetta sia atta a produrre un annuo reddito, tutta volta il capitale equivalente risulta minore del prezzo, che potrebbe ricavarsi con la vendita dell'area, e de'materiali, quando si volesse demolir l'edificio. All'opposto quando il valore dell'area, e de'materiali sia decisamente minore del capitale equivalente al reddito netto annuo, che può ricavarsi dando la fabbrica a pigione, in allora è codesto capitale che costituisce il vero valore della fabbrica. Importa però di avvertire che quando il valsente d'una fabbrica dev'esser desunto dal reddito, questo vuol esser assegnato non dipendentemente da quello che è, o che potrebb'essere, in grazia di accidentali cagioni, o per circostanze mutabili, ma bensì da quel valor medio che può presumersi competere stabilmente alla qualità della fabbrica, e dell'uso cui è destinata, nella variabilità delle circostanze che vi hanno rapporto. Ma siccome nella maggior parte dei casi s'incontra somma difficoltà, ed incertezza a determinare il vero reddito adequato perpetuo attribuibile ad una fabbrica, appunto per la moltiplicità e variabilità eccessiva delle circostanze, dalle quali necessariamente dipende; ed in conseguenza mal sicuro è il giudizio che se ne deduce sul capitale rappresentativo del valor della fabbrica, e sulla prelazione da darsi a questo valore, ovvero a quello dell'area, e de'materiali, secondo che il primo apparisce maggiore del secondo, e viceversa: così rendendosi necessario un temperamento per così dire compensativo, i periti hanno introdotta, ed i tribunali hanno più volte sanzionata la pratica di assumere in codesti casi dubbi un valor composto, cioè uguale alla semisomma dell'importo dell'area, e de'materiali, e del capitale equivalente al reddito netto, di cui la fabbrica è supposta capace. A queste massime generali deve intendere l'architetto chiamato al geloso assunto di far la stima di qualche fabbrica, a fine di prefiggere il partito conveniente da seguirsi per venire ad una giusta valutazione, secondo le diverse circostanze de'casi. Del resto la stima effettiva generalmente si riduce ad un'operazione di calcolo, fondata sopra dati in parte positivi, in parte presuntivi, la determinazione de'quali è rimessa all'esattezza, all'esperienza, ed al retto giudizio dell'architetto.

§. 1076. Allorchè la stima dev'esser desunta dal costo della costruzione, ritorna identicamente il caso, che fu l'obbietto de'primi capi di questo libro. Generalmente parlando nel costo della costruzione vuol esser compreso l'importo dell'area, su cui la fabbrica dovrà esser quasi

diremmo trapiantata. Ciò per altro non ha più luogo quando l'area della fabbrica attuale sia compresa in uno spazio più ampio, di cui siasi separatamente fatta una completa stima, ovvero il caso che fosse forza di erigere la nuova fabbrica sopra un'area di maggior pregio di quella, che era occupata dalla fabbrica ceduta; poichè allora si dovrebbe aggiugnere al costo della costruzione la differenza fra il prezzo dell'area che dovrà essere occupata dalla nuova fabbrica, e quello su cui giaceva l'edificio primiero.

§. 1077. Il prezzo d'una fabbrica a stima di area e di materiali, o sia di sito e cementi, è espresso dalla somma dei valori dell'area, e de' materiali considerati fuor d'opera, e nello stato in cui potranno ricuperarsi demolendo le varie parti dell'edificio, diminuita della spesa necessaria per la demolizione, per tutte l'operazioni occorrenti a mettere i materiali in istato corrispondente ai prezzi ad essi assegnati, e per isbarazzare il sito togliendo via tutti i calcinacci, e l'altre materie inutili. La determinazione di codesta spesa altro non è in sostanza che la stima di varie operazioni, alla quale si deve procedere giusta i precetti contenuti nei precedenti capitoli. La giusta valutazione de' materiali esige che si esamini attentamente lo stato in cui si trovano, che se ne determini la quantità mediante la misura delle diverse parti dell'edificio, con quelle deduzioni, che l'arte e l'esperienza sapranno suggerire, e che si assegni a ciaschedun materiale un congruo prezzo elementare, relativamente alla sua qualità, e all'attuale sua condizione, sulla base dei locali prezzi ordinari autorizzati dal commercio, o dall'opinion comune de' periti. In ordine al valore dell'area convien distinguere se la fabbrica è in campagna, ovvero se è in città. Nel primo caso l'area dell'edificio dev'esser valutata al saggio stesso del terreno circostante, stimato a seconda delle regole esposte nel capo precedente. Nel caso secondo sarebbe difficilissimo, e forse vano il tentativo di stabilire delle basi generali e positive per assegnare direttamente il prezzo del terreno occupato da una fabbrica urbana; ed è quindi forza attenersi a quei prezzi di convenzione, che sono stati autenticati dal consenso dei periti; il quale se non altro ne' diversi paesi suol prescrivere certi limiti, dentro i quali a senno degli stimatori si determina il valore da appropriarsi all'unità superficiale del terreno ne' vari quartieri, e nelle varie contrade delle città, in proporzione del maggiore, o minor pregio del sito, relativamente ai moltiplici riguardi di comodo, di piacere, e di lusso. Nell'abitato di Roma il terreno si valuta presentemente da 5 fino ad 80 scudi la canna quadrata, vale a dire da uno fino a 16 scudi il metro quadrato; distinguendo però il terreno effettivamente coperto dalle fabbriche, il quale vien apprezzato da due fino a 16

e talvolta fino a 20 scudi il metro quadrato, da quello scoperto de'cortili, e de'giardini, che si stima da uno fino a sei scudi per metro. La quale distinzione, se ben si riflette, quantunque comunemente accettata, non sembra generalmente giusta; e pare che se pur si dà luogo a distinzione dovesse piuttosto distinguersi nell'area d'una fabbrica quella parte di essa che giace più vicina alla strada, da quella che n'è più rimota, senza badare al costrutto effettivo cui servono, dipendentemente dalla distribuzione dell'edificio da cui è occupata; la quale o per non curanza del proprietario, ovvero per poco accorgimento dell'architetto, ed anche tal volta per particolari fini, potrebbe lasciar scoperta ed inabitabile una parte più pregevole dell'area, mentre qualche parte di meno pregio assoluto fosse effettivamente coperta, ed abitabile.

§. 1078. Per ultimo volendosi stimare una fabbrica dal reddito annuo che può verosimilmente sperarsene a perpetuità, o sia, come volgarmente dicesi, a capitale di pigioni, importa prima di tutto di assegnare la somma delle pigioni ritraibili, e questa non già degli affitti attuali, i quali per accidentali cagioni potrebbero essere sproporzionati al merito dell'edificio, ma bensì dalla ponderazione di tutti quegli attributi della fabbrica, i quali possono valere a tenerla in credito; il quale è un punto onninamente affidato al criterio, alla perizia, ed alla rettitudine dello stimatore. Determinata codesta somma, che costituisce l'annuo reddito lordo, secondo il volgar modo d'esprimersi, si deve da essa diffalcare l'importo dell'annue spese di acconcimi, o sia dell'annua manutenzione ordinaria, si deve pur detrarre la somma di tutti i pesi annui d'imposizioni d'ogni genere, e finalmente si deve togliere eziandio una quota media ragionevole per gli affitti che possono mancare, e per le spese ordinarie, ed eventuali d'esigenza e contratti; la quale quota suol valutarsi comunemente dai pratici il 5 per 100 del reddito lordo. La somma residuale esprimerà il reddito netto della fabbrica, di cui si troverà agevolmente l'equivalente capitale, calcolato l'interesse del denaro al saggio legale, cioè presentemente al 5 per 100. Qualora poi la fabbrica addimostrasse dei patimenti, lesioni, o parziali decadimenti nei materiali, sarebbe d'uopo di calcolare le spese necessarie per ristaurarla, onde ritornarla in buono stato, come si richiede che sia continuamente mantenuta, affinchè possa essere in grado di dare in perpetuo il supposto reddito annuo; e della somma di tali spese dovrà quindi diminuirsi il capitale già trovato, onde avere il vero valore della fabbrica nel presente suo stato.

FINE

# INDICE

## DELLE MATERIE CONTENUTE IN QUESTO SECONDO VOLUME

# LIBRO TERZO

### DEI LAVORI MURALI

## SEZIONE PRIMA

### DEI MURI IN GENERALE

### CAPO I.

#### NOZIONI PRELIMINARI



### CAPO II.

#### DELLE PIETRE NATURALI

## TABELLA



## CAPO III.

### DELLE PIETRE ARTEFATTE



## PROSPETTO



## CAPO IV.

### DELLE MALTE

## CAPO V.

### DELLA FONDAZIONE DE' MURI.

## CAPO VI.

### DELLA STRUTTURA MURALE.

## CAPO VII.

### DELLA STABILITÀ DE' PIEDRITTI



## TABELLA I.



## TABELLA II.

## CAPO VIII.

### DELLE VOLTE



## TABELLA

## CAPO IX.

### DEGL' INTONACHI, E DE' PAVIMENTI.



## CAPO X.

### DELLA CONSERVAZIONE DELLE FABBRICHE.

# SEZIONE SECONDA

## D' ALCUNE COSTRUZIONI MURALI CHE PIU' STRETTAMENTE APPARTENGONO ALL' ARCHITETTURA IDRAULICA

## CAPO XI.

### DE' PONTI DI STRUTTURA MURALE.

## CAPO XII.

### DE' SOSTEGNI



## CAPO XIII.

### ALTRI EDIFIZI DESTINATI AL REGOLAMENTO, E ALLA CONDOTTA DELL' ACQUA

## CAPO XIV.

### COSTRUZIONI MARITTIME



# LIBRO QUARTO

## DELLE MACCHINE, E DELLE MANOVRE ARCHITETTONICHE

## CAPO I.

### NOZIONI GENERALI



## CAPO II.

### DELLE MACCHINE DA TRASPORTO

## CAPO III.

### DELLE MACCHINE SEMPLICI IMPIEGATE PER TIRARE, E PER ALZAR PESI.

## CAPO IV.

### ORDINARI APPARATI MECCANICI PEL MOVIMENTO DI GRANDI PESI.



## CAPO V.

### STRUMENTI, E MACCHINE EFFOSSORIE.

## CAPO VI.

### DELL' ESPULSIONE DELL' ACQUA DAI CAVI E DAI RECINTI A STAGNO PER LE FONDAZIONI MURALI

## CAPO VII.

### DELLE MACCHINE PALIFICATORIE.

# LIBRO QUINTO

## DELLE STIME

## CAPO I.

### NOZIONI E CRITERI FONDAMENTALI



## SEZIONE PRIMA

### STIMA DELLA COSTRUZIONE

## CAPO II.

### MASSIME GENERALI.



## CAPO III.

### LAVORI DI TERRA.

## CAPO IV.

### DELLA DISTANZA E DELL'ECONOMIA DE' TRASPORTI.

## CAPO V.

### LAVORI DI LEGNAME, FERRAMENTI, E VERNICI



## CAPO VI.

### COSTRUZIONI MURALI



## TAVOLA I.

## TAVOLA II.



## TAVOLA III.



## TAVOLA IV.



# SEZIONE SECONDA

## STIMA DELL OCCUPAZIONE

## CAPO VII.

### OCCUPAZIONE DE' TERRENI CAMPESTRI



## CAPO VIII.

### OCCUPAZIONE DI FABBRICHE



*FINE DELL' INDICE DEL VOLUME SECONDO.*

| Pag. | lin. | ERRATA | CORRIGE |
|---|---|---|---|
| 12 | 16 | coefficiente $K$ per la resistenza | coefficiente $k$ per la resistenza |
| 51 | 33 | con le calcine grasse | con le calcine magre |
| 70 | 29 | alle costruzioni de' muri | alle sostruzioni de' muri |
| 72 | 13 | mentre con buon | mentre un buon |
| 80 | 14 | chiusa combaciata | chiusa e combaciata |
| 81 | 21 | ossatura | orsatura |
| 88 | 25 | *de libogas* | *de libages* |
| 102 | 17 | fialmente | finalmente |
| 105 | 21 | alternarsi | attaccarsi |
| ivi | 23,21 | ( fig. 234 ) | ( fig. 237 ) |
| ivi | 33 | $\sqrt{(a^2+b^2)}:b::cp:x$ | $\sqrt{(a^2+b^2)}:b::ap:x$ |
| 106 | 31 | ( fig. 235 ) | ( fig. 237 ) |
| 120 | 21 | $aC[3^2bd+\ldots$ | $aC[3b^2d+\ldots$ |
| 124 | 13 | tenersi | temersi |
| 127 | 27 | noti che sieno | note che sieno |
| 128 | 16 | ed 1, 522 | ad 1, 522 |
| 135 | 35 | monumenti suoi | monumenti sacri |
| 138 | 36 | archi frontali *ccc, ooo* | archi frontali *eee, oao* |
| 139 | 19 | volte a soffitti | volte o soffitti |
| 141 | 39 | uniforme | cuneiforme |
| 159 | 1 | o. $\frac{AT}{BM}=$ | (A) . . . . o. $\frac{AT}{BM}$ |
| ivi | 2 | faremmo AF | faremo AF |
| ivi | 8 | mO = | (B) . . . . mO = |
| 165 | 25 | ABCD | ABCD (fig. 278) |
| ivi | 33 | come pura | come pure |
| 168 | 29 | Quantunque | §. 691. Quantunque |
| ivi | 35 | più semplici e più propri | più semplici e più opportuni |
| 169 | 27 | §. 691. Il metodo | §. 692. Il metodo |
| 170 | 25 | §. 692. Intonaco | §. 693. Intonaco |
| 173 | 37 | all' nsate pratiche | alle pratiche usate |
| 175 | 23 | fig. 279. | fig. 282. |
| ivi | 30 | larghi circa m. o, 150. | lunghi circa m. o, 150. |
| 181 | 22 | di cora | di cera |
| 192 | 19 | $S=\frac{S^2(a-a')^2}{2gL^2t^2y^2}$ | $s=\frac{S^2(a-a')^2}{2gL^2t^2y^2}$ |
| 193 | 25 | si vaglia | si valesse |
| 195 | 35 | classici punti | classici ponti |
| 212 | 29 | fiumi o che portano | fiumi che portano |
| 220 | 24 | deligentesnente | diligentemente |
| 230 | 7 | a fronte di questo muro | la fronte di questo muro |
| ivi | 14 | renderenbei | renderebbe |
| 274 | 22 | argano | organo |
| 277 | 37 | Stachette | Hachette |
| 279 | 39 | pratazioni de' cafciali | protrazioni de' cosciali |
| 280 | 15 | di pubblica occasione | di pubblica ragione |
| 297 | 12 | *connocchie* | *conocchie* |
| 303 | 4 | dell' asse di ruotazione | dall'asse di ruotazione |
| 313 | 4 | fig. 392. | fig. 393. |
| 319 | 8 | al verrocchio *V*. | al verrocchio *u* |
| 243 | 24 | non ne per mezzo di brache | non già per mezzo di brache |
| 347 | 40,41 | un' abile operaio può | due abili operai possono |
| 354 | 22 | venir folta | venir sotto |
| 359 | 6 | zattera *zzz* | zattera *ZZZ* |
| 368 | 9 | nome, e della civile società | l' uomo e della civile società |
| 407 | 10 | branche *ee* | branche *b, e* |
| 426 | 8 | bolle di livello | botte di livello |
| 427 | 16 | sopra questi principii | sopra giusti principii |

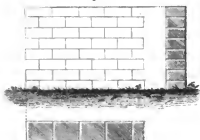



Fig 213.
Fig 214
Fig. 215
Fig 216
Fig 217
Fig 218

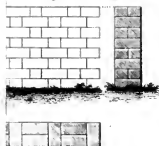
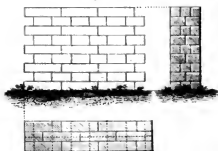
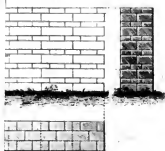
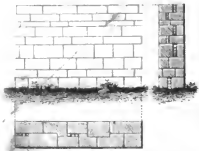



Fig. 220.
Fig. 221
Fig. 222
C
D
E
C
D
E

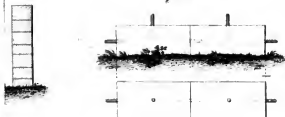
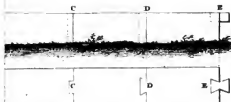



Fig. 224.



Fig. 225.

Fig. 227.

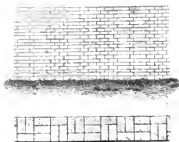



Fig. 229.

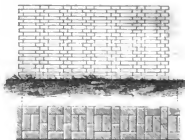



Fig. 231

Fig. 233.

Fig. 234

Fig. 235.

Fig. 236.

D
C
B
A
O
Fig. 238
K
C
D
E
F
P
P
M
Fig. 239
H
H
G
Q
Q
O
O
N
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Decametro

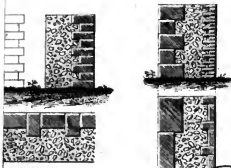
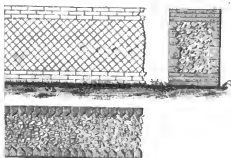



Fig. 242
O
E
C
P
B
...41
N
Y
Y
Fig. 243.

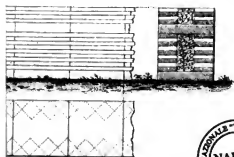
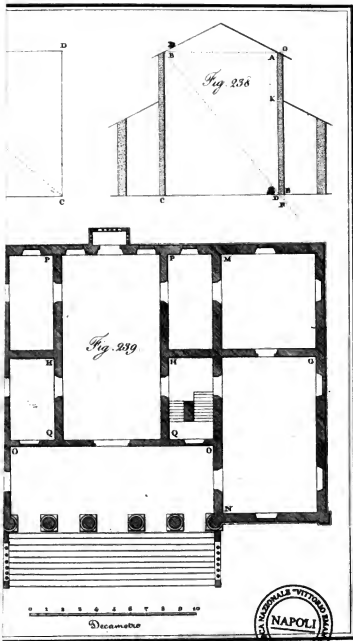
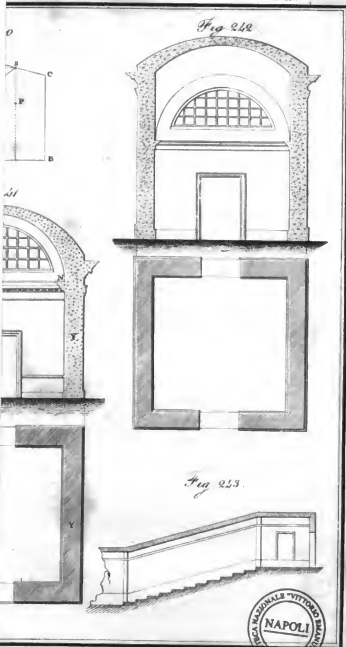
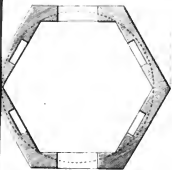
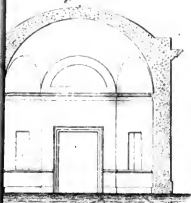
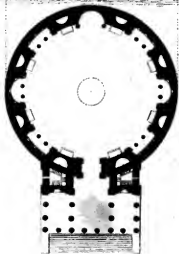
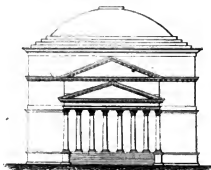



Fig. 244.
Fig. 245.
Fig. 246.
Fig. 247.

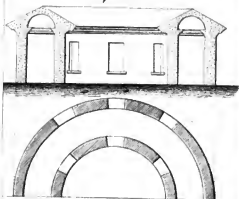



Fig 249
Fig 250

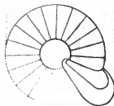
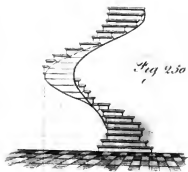



Fig. 255.

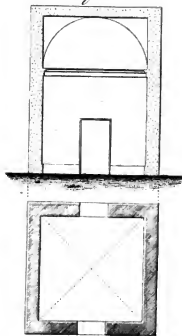
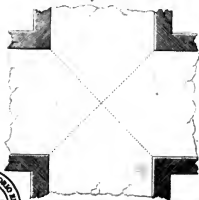
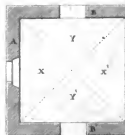
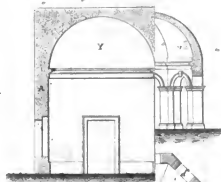
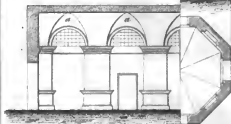
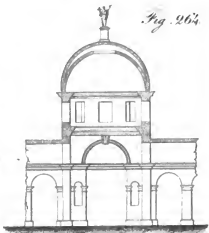
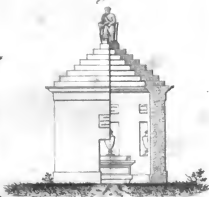
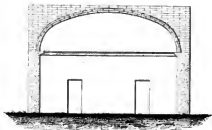



Fig. 256.

A. Nini inc.

II.

Tav. 12.

Fig. 271.

Fig. 272.

Fig. 273.

Fig. 269.

d

d

Fig. 274.



Tav. 13.

Fig. 275.
m
m
e
[...]g. 276.
K
N
Fig. 277.
C
b
c
b'
B
K
D
F
E
O
e
N
e'
E'
F'
A
T
a
M
a'
A'
Fig. 279.
Fig. 280.
Fig. 281.
b
b
t
c
c
t
d
d
[...]g. 278.
B
P
k
b
p
s
o
q
C
Q

Fig. 285.
A. Nini inc.

Istituzioni
Tav. 15.
Fig. 295.
Fig. 296.
A Nini inc

Fig
Fig 305.
Fig 307.
Fig 308.
Fig 309.
A. Nini inc.

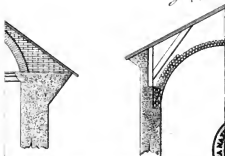
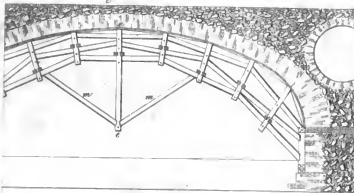
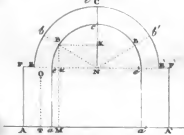
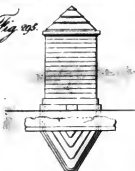
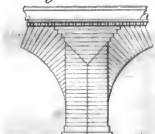
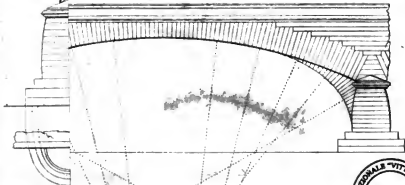
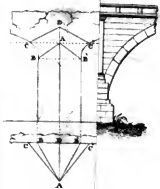
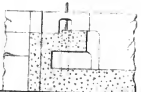
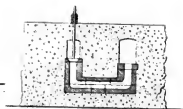
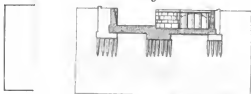



Fig. 313.

Fig. 314.

Fig. 315.

Fig. 316.

A. Nini inc.

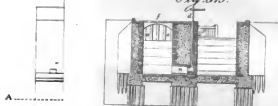
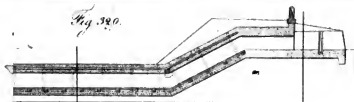



Fig. 320.
Fig. 319.
Fig. 322.
Fig. 323
Fig. 32?
Fig. 327.
A. Nini inc.

Fig. 3
Fig. 333.
Fig. 334.
. 335.
Fig. 336.
Fig. 337.
346.
Fig. 353.
Fig. 352.
Fig. 359.
Fig. 354.
M
K
L
I
N
G
F
E
A
B
C
D

A. Nini inc.

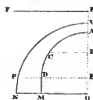
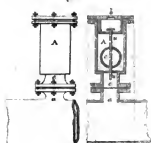
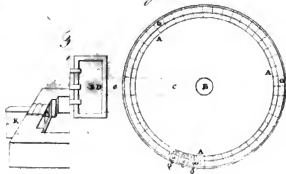
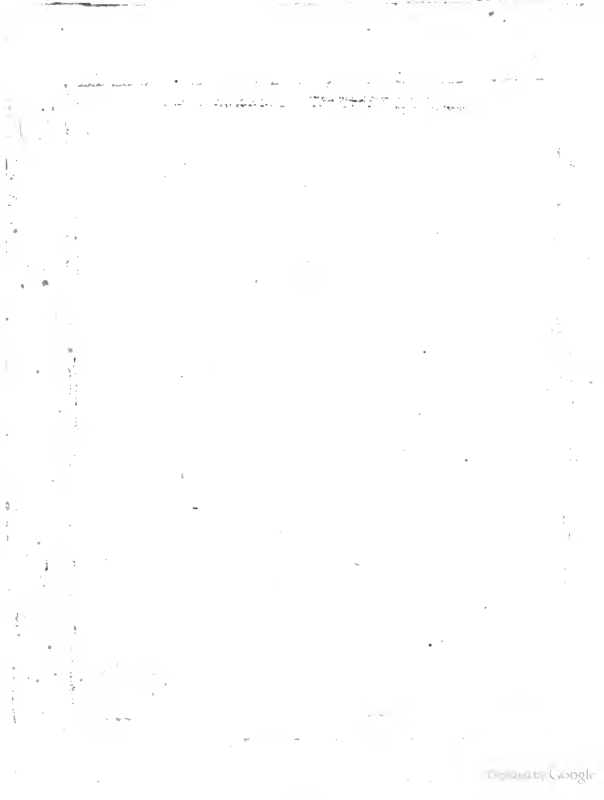
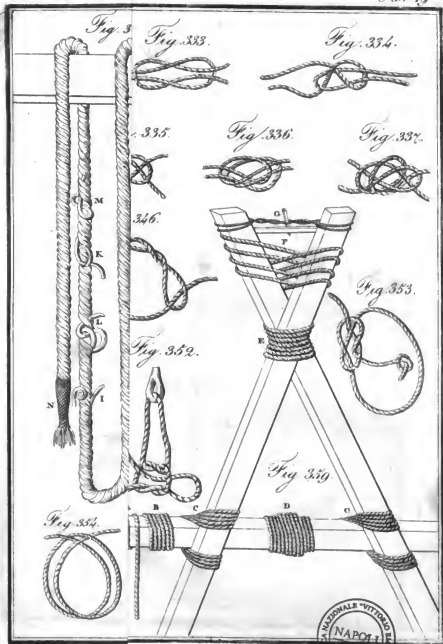
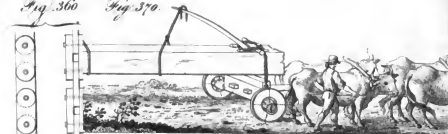
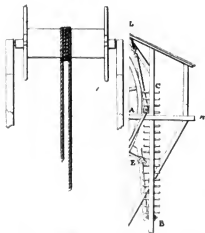
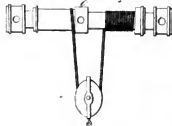
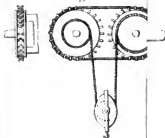
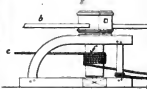



Fig. 369
Fig. 370
Fig. 371
Fig. 377
Fig.
Fig. 372
Fig. 378
376
A. Nini inc.

Istituzioni d' Architet



A. Nini inc.

Fig. 395.
A. Nini inc.

Fig. 405

Fig. 404

A. Nini inc.

Fig. 408
Fig. 411
A. Nini inc.

Fig. 417 — Fig. 422 — Fig. 425 — Fig. 426

Fig. 420

Fig. 427

Fig. 421

Fig. 423

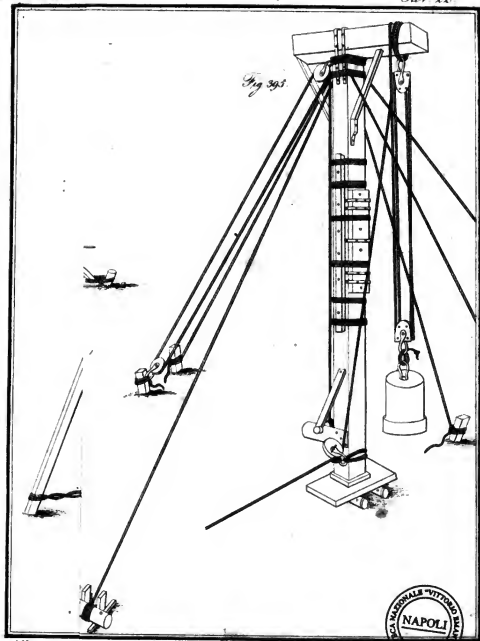
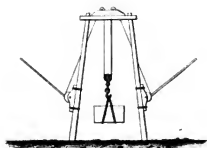
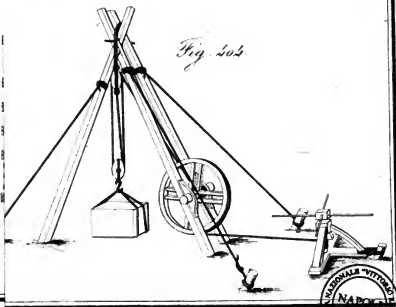
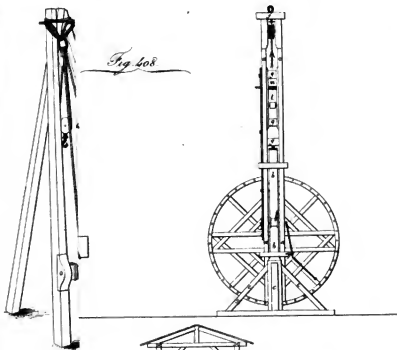
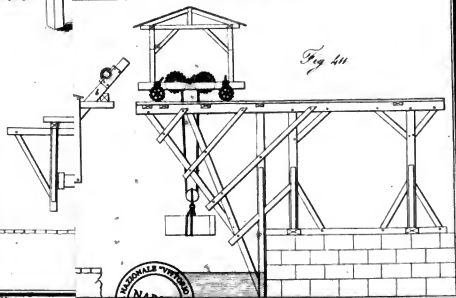



Fig. 431.
Fig. 432
Decametro
A. Noni inc.

Fig. 434
Fig. 436
Fig. 442
Fig. 443
A. Nini inc.

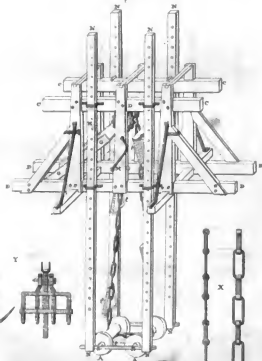
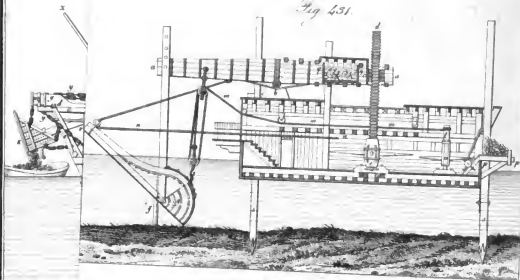
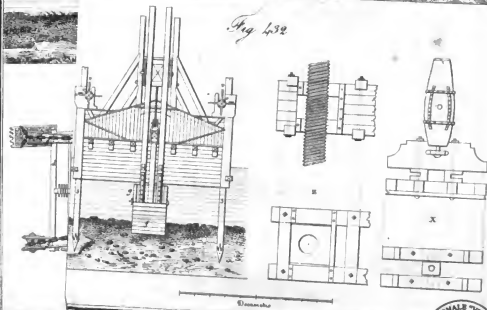
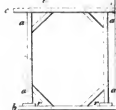
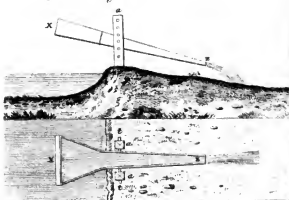



Fig 449
Fig 451
Fig 445
Fig 448

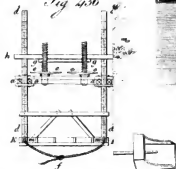
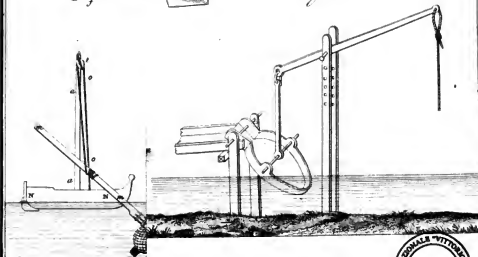
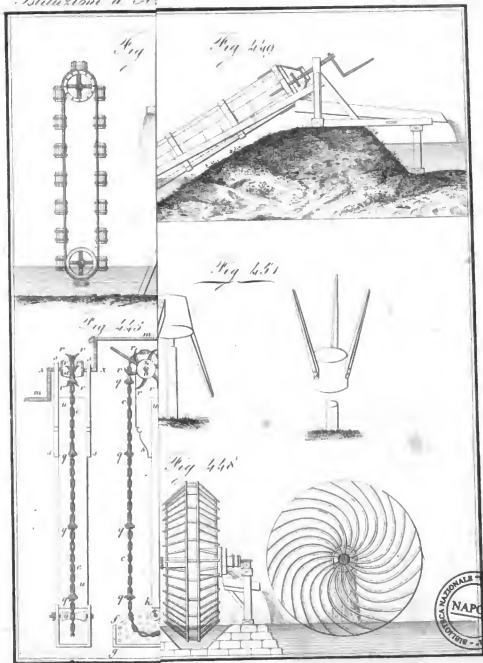



Fig. 452
Fig. 456
Fig. 454
Fig. 457

A. Nini inc.

A. Nini inc.

Tav. 39.
Sez. VI
Sez. IX.
Sez. VIII.